

HC79.T4  
N67  
1995

RESERVADO



**INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO**  
**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA**

**MODELOS QUANTITATIVOS DE TRANSFERÊNCIA E  
SUBSTITUIÇÃO DE TECNOLOGIA**

por

**Maria Salomé de Sousa Moreira**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Matemática  
aplicada à Economia e à Gestão.

orientação do Prof. Doutor António St'Aubyn

Júri

Presidente: Prof. Doutor Carlos Alberto da Silva Ribeiro

Vogais: Prof. Doutor António St'Aubyn

Prof. Doutor João Manuel Teixeira da Silva Oliveira

**Dezembro 1995**



### **Agradecimentos**

Ao Prof. Doutor António St'Aubyn pela escolha do tema, e o tempo que dispensou na orientação deste trabalho.

Ao Prof. Doutor Fernando de Oliveira Durão pela preciosa ajuda na elaboração do programa de resolução numérica da equação inserida neste trabalho, que muito contribuiu para a sua valorização.

Ao meu amigo e colega Onofre Simões pela disponibilidade e encorajamento prestados nos momentos mais difíceis.

Às colegas Fernanda Sampaio, pelos lindos esquemas do capítulo 1 com que quis presentear-me, e à Filomena Pimenta, sempre pronta a socorrer-me a enfrentar esta "máquina", por vezes bem adversa.



## **RESUMO**

O problema da transferência e substituição de tecnologia é, no contexto actual - em que cada vez parece dar-se um maior valor à livre concorrência, tanto entre empresas, como entre países - um tema de crucial importância.

Na presente dissertação são estudados alguns modelos quantitativos para análise do desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia, os quais foram escolhidos por se considerar serem representativos. Na obtenção das soluções dos respectivos modelos foram aplicadas as técnicas habitualmente utilizadas na resolução das equações diferenciais. São também apresentados alguns exemplos de situações concretas em que foi tentada a respectiva aplicação.

Neste trabalho é ainda proposto um modelo de transferência de tecnologia concebido com base nos modelos existentes, que conjuga a abordagem logística com a capacidade de absorção do seguidor durante o processo de transferência. Foi elaborado um programa de resolução numérica e foram feitas algumas simulações tendo-se observado que o modelo correspondia às hipóteses introduzidas.

Paralelamente, foram incluídos alguns modelos de substituição de tecnologia, obtidos como casos particulares dum modelo de transferência, mas que constituem uma perspectiva diferente de tratamento.

A finalizar é estudado um modelo de substituição de tecnologia que inclui na sua modelização as duas vertentes - tempo e espaço - do processo de difusão da inovação.

**PALAVRAS - CHAVE:** tecnologia; transferência; lider; seguidor; desnível tecnológico.

# ÍNDICE

## **1. Introdução**

1.1. Estrutura da dissertação.....	1
1.2. Apresentação do tema .....	2
1.3. Conceitos fundamentais	
1.3.1. Transferência de tecnologia.....	4
1.3.2. Características duma tecnologia.....	5
1.3.3. Factores envolvidos no processo de transferência .....	9
1.3.3.1. Factores do lado da procura.....	12
1.3.3.2. Factores do lado da oferta.....	15

## **2. Modelos quantitativos de transferência de tecnologia**

2.1. Introdução .....	17
2.2. Modelo de avaliação dos potenciais tecnológicos de um país	
2.2.1. Desenvolvimento conceptual do modelo.....	19
2.2.2. Hipóteses do modelo.....	20
2.2.3. Formulação do modelo.....	21
2.2.4. Aplicação: análise e discussão.....	28
2.3. Modelo de transferência e de "Perseguição Tecnológica"	
2.3.1. Introdução.....	32
2.3.2. Desenvolvimento conceptual do modelo.....	33
2.3.3. Hipóteses e formulação do modelo.....	35
2.3.4. Aplicações : análise e discussão.....	41
2.4. Modelo de transferência "emparelhada"	
2.4.1. Desenvolvimento conceptual do modelo .....	56
2.4.2. Hipóteses e formulação do modelo .....	58
2.4.3. Aplicações: análise e discussão .....	61



2.5. Nova abordagem do modelo de transferência "emparelhada" .....	70
2.5.1. Formulação do modelo .....	71
2.5.2. Determinação da solução do modelo .....	73
2.5.3. Discussão do modelo .....	74
2.5.4. Aplicação do modelo.....	77
2.6. Proposta de um "novo" modelo de transferência de tecnologia: Abordagem logística com taxa de transferência variável	
2.6.1. Desenvolvimento conceptual do modelo.....	79
2.6.2. Hipóteses do modelo .....	80
2.6.3. Aplicações: análise do modelo.....	83
3. Modelos quantitativos de substituição de tecnologia	
3.1. Introdução.....	86
3.2. Casos particulares do modelo de avaliação dos potenciais tecno- lógicos de um país.....	88
3.3. Modelo de substituição tecnológica com as dimensões de tempo e espaço	
3.3.1. Desenvolvimento conceptual do modelo .....	93
3.3.2. Ilustração do modelo: análise e discussão .....	98
4. Conclusões.....	100
Anexo	
Referências Bibliográficas	

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Estrutura da dissertação**

Nesta dissertação é apresentado e estudado o problema da transferência e substituição de tecnologia, utilizando principalmente equações diferenciais.

No capítulo 1, apresentam-se algumas definições e conceitos considerados fundamentais para a introdução do tema. Os principais pontos abordados foram:

- 1.** Apresentação do tema
- 2.** Característica da tecnologia
- 3.** Factores envolvido no processo de transferência.

No capítulo 2, é dada uma panorâmica dos modelos quantitativos sobre transferência de tecnologia. São apresentados quatro modelos quantitativos de tranferência de tecnologia. Estes modelos foram elaborados por alguns investigadores que por razões diversas se interessaram pelo assunto.

É também apresentado um “novo” modelo de transferência de tecnologia que tem por base os modelos existentes, e que incorpora a abordagem logística e a alteração da capacidade de absorção do seguidor durante o processo de transferência.

Seguem-se-lhe algumas conclusões e sugerem-se algumas pistas para trabalho futuro nesta área.

No capítulo 3, o último, é feita uma revisão de alguns modelos de substituição tecnológica, e apresentado um modelo que contempla as vertentes espaço e tempo no processo de difusão da inovação.

Em breves palavras, pode dizer-se que o objectivo desta dissertação acabou por ser, afinal, uma sistematização dos modelos quantitativos existentes, e constitui provavelmente o ponto de partida para novas explorações matemáticas sobre o referido tema, particularmente o modelo quantitativo proposto que, naturalmente, deverá ser melhor explorado.

## 1.2. Apresentação do tema

Sendo o avanço tecnológico reconhecido como um factor importante para o rápido desenvolvimento económico, muitas nações em desenvolvimento têm acentuado a *transferência de tecnologia* como um veículo para se alcançar uma melhor qualidade de vida.

Assim, o problema da transferência e substituição de tecnologia é, no contexto actual em que cada vez parece dar-se um maior valor à livre concorrência, tanto entre empresas como entre países, um tema central.



Existem numerosos estudos de abordagens qualitativas sobre transferência de tecnologia entre países, nomeadamente os trabalhos de Barranson, de Brookman, e de Hayden (cf. Win Liu [9]). Contudo, têm sido descuradas, as análises quantitativas da transferência de tecnologia e do seu papel no desenvolvimento económico dum país, de uma região, ou de uma empresa.

As análises quantitativas, são no entanto úteis na política de decisão duma empresa, quando confrontada com um processo de transferência de uma dada tecnologia.

Muitos investigadores se têm por isso interessado por este tema, e vários métodos têm sido propostos para se medir quantitativamente a tecnologia transferida. Com efeito, o problema fundamental neste processo tecnológico é quantificar a transferência de tecnologia a efectuar entre o país fornecedor - *a fonte*, e o país destinatário - *o receptor*.

Uma das primeiras contribuições foi elaborada por Foster e Nissenoff em 1979, (cf. [14]), que utilizaram um índice tecnológico para classificar a tecnologia a ser transferida do país origem, assim como a do país receptor.

A partir dos finais da década de 70, muitos outros investigadores se interessaram pelo problema e desde então vários modelos têm sido propostos. São os modelos de transferência de tecnologia, que vão ser apresentados neste trabalho. Alguns deles resultam da introdução de alterações valorativas dos modelos que o precedem.

Por último serão também incluídos, nesta dissertação, alguns modelos de substituição de tecnologia, isto é, modelos que descrevem o processo temporal através do qual a adopção de uma nova tecnologia se difunde para substituir uma tecnologia existente. Relativamente a este fenómeno da substituição



tecnológica pode afirmar-se que o trabalho pioneiro no desenvolvimento deste tipo de modelos foi o modelo desenvolvido por Mansfield (cf. [12]), que continua a ser considerado como fundamental.

### 1.3. Conceitos fundamentais

#### 1.3.1. Transferência de Tecnologia

A transferência de tecnologia, segundo a definição de Souder (cf. [9]), é um processo de deslocação de conhecimentos tecnológicos de uma entidade organizacional, ou local, para outra. A entidade pode ser um departamento de uma empresa, uma empresa, ou um país. Verifica-se assim que, no contexto de mudança tecnológica, a transferência de tecnologia tem especificamente em conta a dimensão espacial dos processos de difusão da inovação.

Normalmente, consideram-se dois tipos essenciais de transferência de tecnologia:

- *Transferência interna* ou *transferência por fases*, que é um processo empresarial que procura fazer passar uma dada tecnologia de uma fase para outra fase do seu ciclo de vida. A transferência interna ocorre entre departamentos dentro de uma organização (empresa ou país);
- *Transferência externa*, que é um processo de transferência de uma organização para outra organização (empresa ou país).

Antes de se prosseguir, devem desde já ser apresentadas as condições que caracterizam o processo de transferência de tecnologia. Neste sentido, entende-se que:

*Existe transferência de tecnologia sempre que uma organização contribui para o desenvolvimento das capacidades de outra organização, no sentido*

*desta passar a utilizar, adoptar, modificar ou, até, expandir certos conhecimentos ou técnicas. Esses conhecimentos ou técnicas podem estar associados, tanto à forma de utilizar ou consumir um produto, como ao método de fabricar um bem ou prestar um serviço.*

É evidente que o conceito anterior suscita algumas interrogações, uma vez que tecnologia não é sinónimo de informação livremente disponível para utilização das organizações.

É também claro que a transferência de tecnologia depende não só da vontade do detentor da tecnologia em a transferir, e da capacidade de absorção do receptor, como também das próprias características da tecnologia.

O processo de transferência envolve portanto um sem número de aspectos, não explicitados no conceito de transferência apresentado acima, e que de acordo com a opinião de Robinson [16], importa considerar. Assim, como se verá, talvez seja mais correcto encarar a transferência de tecnologia, como uma relação, mais do que como um acto. A pergunta que se poderá fazer neste contexto é, naturalmente, "*como se mede uma relação?*" Possivelmente apenas em termos de expectativas dos parceiros envolvidos.

Aprofundando a análise, neste sentido, vai tentar fazer-se a sua avaliação através das características mais importantes da tecnologia. Este é o objectivo do ponto seguinte.

### **1.3.2. Características duma tecnologia**

Uma representação esquemática das características mais importantes duma tecnologia é a que se pode ver na figura 1, na página seguinte.

Vão ser apresentadas treze características através das quais se poderá descrever, com algum sentido, o conteúdo da tecnologia.

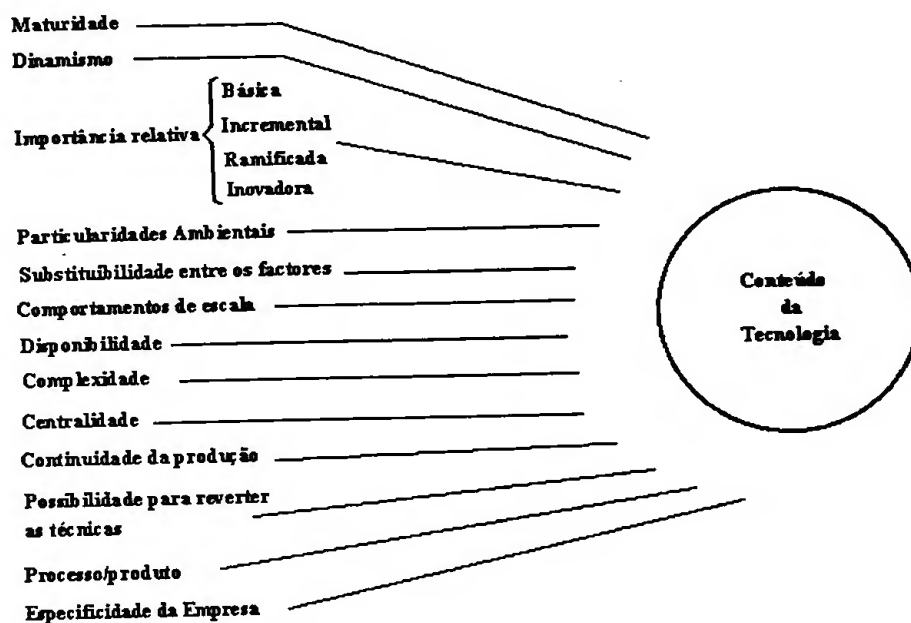


Fig. 1. Características da tecnologia

A primeira característica, *maturidade*, está ligada à posição relativa da tecnologia no seu ciclo de vida. Normalmente identificam-se, as seguintes fases no *ciclo de vida de uma tecnologia*:

1. Fase da descoberta ;
2. Fase da investigação ;
3. Fase do desenvolvimento ;
4. Fase comercial ;
5. Fase da introdução no mercado ;
6. Fase da modificação ;
7. Fase da standardização ;
8. Fase da universalização ;
9. Fase da competitividade ;



10. Fase da substituição ;

11. Fase do desaparecimento.

Para algumas tecnologias, algumas destas fases, são elididas no tempo ou até virtualmente simultâneas. Este facto está interligado com a característica seguinte, o *dinamismo*.

A segunda característica, *dinamismo*, tem a ver com a rapidez com que a tecnologia se movimenta ao longo das onze fases do seu ciclo de vida.

A *importância relativa* da tecnologia, é a terceira característica. Está ligada ao papel desempenhado pela tecnologia dentro da empresa. Assim, antes da empresa tomar qualquer decisão deve ponderar algumas questões tais como:

- é a tecnologia *básica*, isto é, fundamental para um desenvolvimento integral, e completamente novo da empresa?
- é de natureza *incremental*, representando apenas um melhoramento de uma aplicação, através de uma adaptação relativamente pequena?
- é de natureza *ramificada*, cuja implantação representa para a empresa adaptações importantes?
- é de natureza *inovadora*, resultando de actividades de I&D?

A *especificidade ambiental*, que é a quarta característica, refere a envolvente física, económica ou industrial que certas tecnologias exigem para terem valor comercial.

A *substituibilidade entre os factores*, em quinto lugar, tem a ver com a possibilidade de substituir trabalho por capital na utilização ou aplicação de uma tecnologia.

A sexta característica, o *comportamento de escala*, diz respeito à necessidade de produzir determinado montante, de modo a atingir um custo unitário aceitável para o produto final.

A *disponibilidade* duma tecnologia, a característica mencionada em sétimo lugar, diz respeito à sua existência, ou não, no mercado.

A *complexidade* é medida pelos níveis de perícia exigidos pela utilização e transferência da tecnologia.

A nona característica, a *centralidade*, é medida pela percentagem, nos ganhos totais da empresa, dos ganhos cuja obtenção está relacionada com uma dada tecnologia.

As duas características seguintes, a *continuidade da produção*, e a *possibilidade de reversão das técnicas*, estão intimamente ligadas. Possivelmente, uma tecnologia não pode ser utilizada separadamente de todo o sistema produtivo existente. Algumas tecnologias exigem, na sua aplicação, alterações radicais do equipamento.

A penúltima característica, faz a distinção entre tecnologia de *produto* e tecnologia de *processo*. A tecnologia de processo pode ser relativamente mais difícil, e mais cara de transferir, do que a tecnologia de produto. Enquanto que a configuração e as características físicas dum produto podem ser facilmente copiadas por pessoas habilidosas, a tecnologia de processo pode envolver um grande número de técnicas de transferência, que necessitem de acompanhamento e de treino.

Finalmente, tem-se a característica que pode ser designada por *especificidade da empresa*. Uma tecnologia pode ser conhecida apenas por uma dada empresa,

como resultado do estudo e da experiência acumulada pelos seus empregados. Nesta situação, a empresa pode:

- ou querer *preservar o segredo* tecnológico para a manutenção do monopólio;
- ou *optar pela transferência*, se pensar que, assim pode prolongar o ciclo de vida dessa tecnologia, (pelo menos em alguns mercados), e conseguir maior lucro do investimento feito, continuando a desenvolvê-la.

### 1.3.3. Factores envolvidos no processo de transferência

Depois de terem sido apresentadas as características da tecnologia, vai ser feito o levantamento, de uma forma sucinta, dos elementos que podem encorajar ou impedir a realização do processo tecnológico.

Em última análise, o primeiro aspecto que deve ser considerado é que o processo de transferência de tecnologia resulta da tomada de decisões, tanto do lado da oferta como do lado da procura. Mais ainda, estes não são os únicos intervenientes na tomada de decisão: existem também vários intermediários e mecanismos de ligação que participam igualmente no processo, como se pode ver na figura 2, na página seguinte.

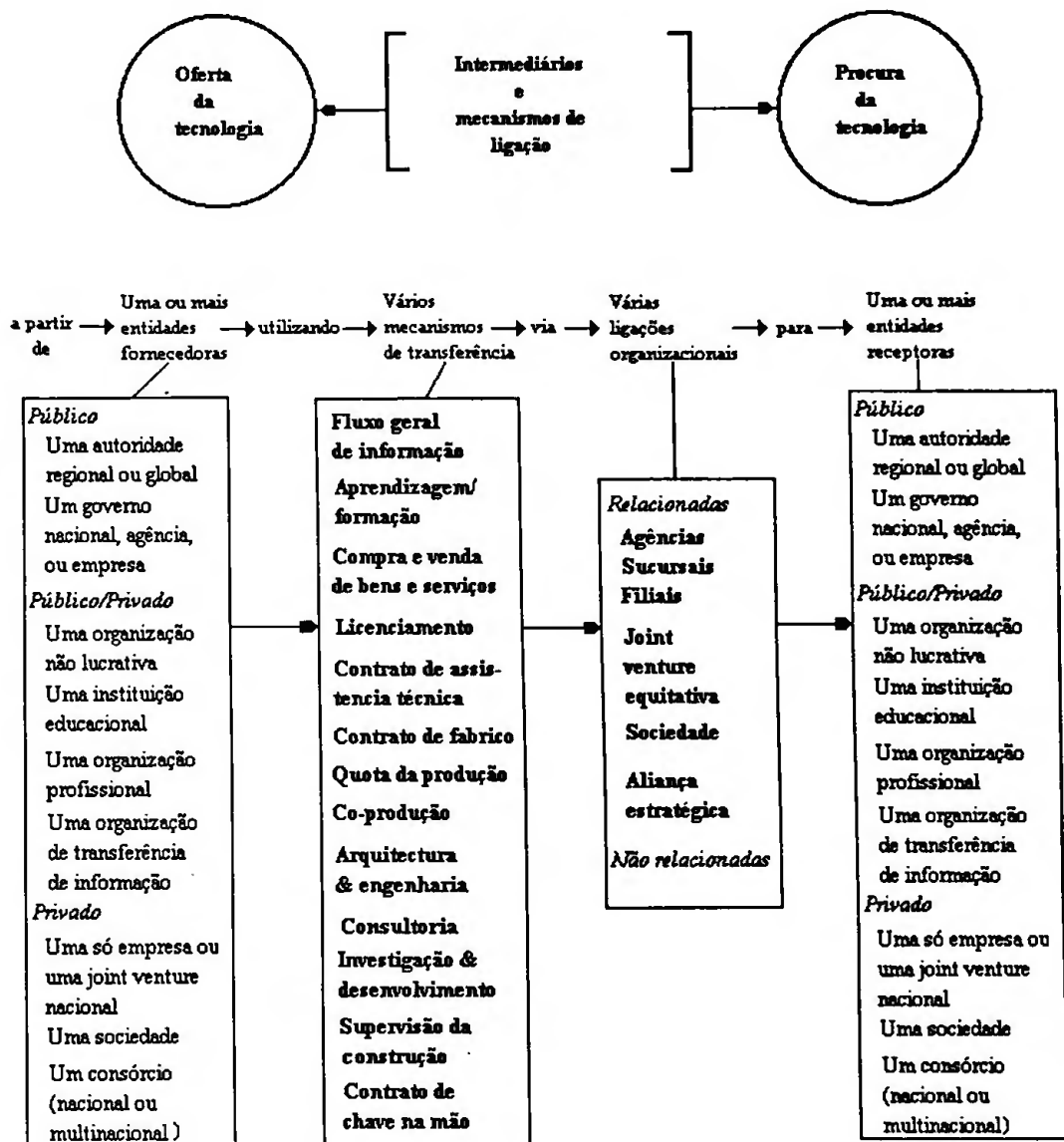


Fig.2 Intermediários e mecanismos da transferência

Como se pode observar, uma empresa ao optar por transferir uma determinada tecnologia faz opções importantes, uma vez que a essa decisão estão associados não só benefícios, mas também custos, e riscos esperados, quer para o receptor quer para o fornecedor, como se observa nas figuras 3 e 4, respectivamente. Ao examinar os respectivos esquemas, pode notar-se a complexidade das relações existentes num processo de transferência de tecnologia.



Estes diagramas, apresentados por Robinson (cf. [16]), resultaram da investigação empírica, compilada durante as duas últimas décadas, e foram elaborados com o objectivo de enumerar, de uma forma exaustiva, todos os agentes que intervêm num processo de transferência de tecnologia, quer na vertente da oferta, quer na vertente da procura.

Tem de admitir-se a natureza hipotética de quase todos os relacionamentos esquematizados. Contudo, alguns deles, tais como a influência política dos respectivos governos, ou as previsões do custo, risco e lucro associados a uma dada transferência são neste processo demasiado evidentes. Por exemplo, uma empresa pode ser impedida de efectuar uma transferência se o seu governo recusar a autorização para exportar essa tecnologia, (por razões estratégicas ou de política internacional), ou ainda no caso do governo receptor recusar a importação com o fundamento de que não é a tecnologia apropriada.

### 1.3.3.1. Factores do lado da procura

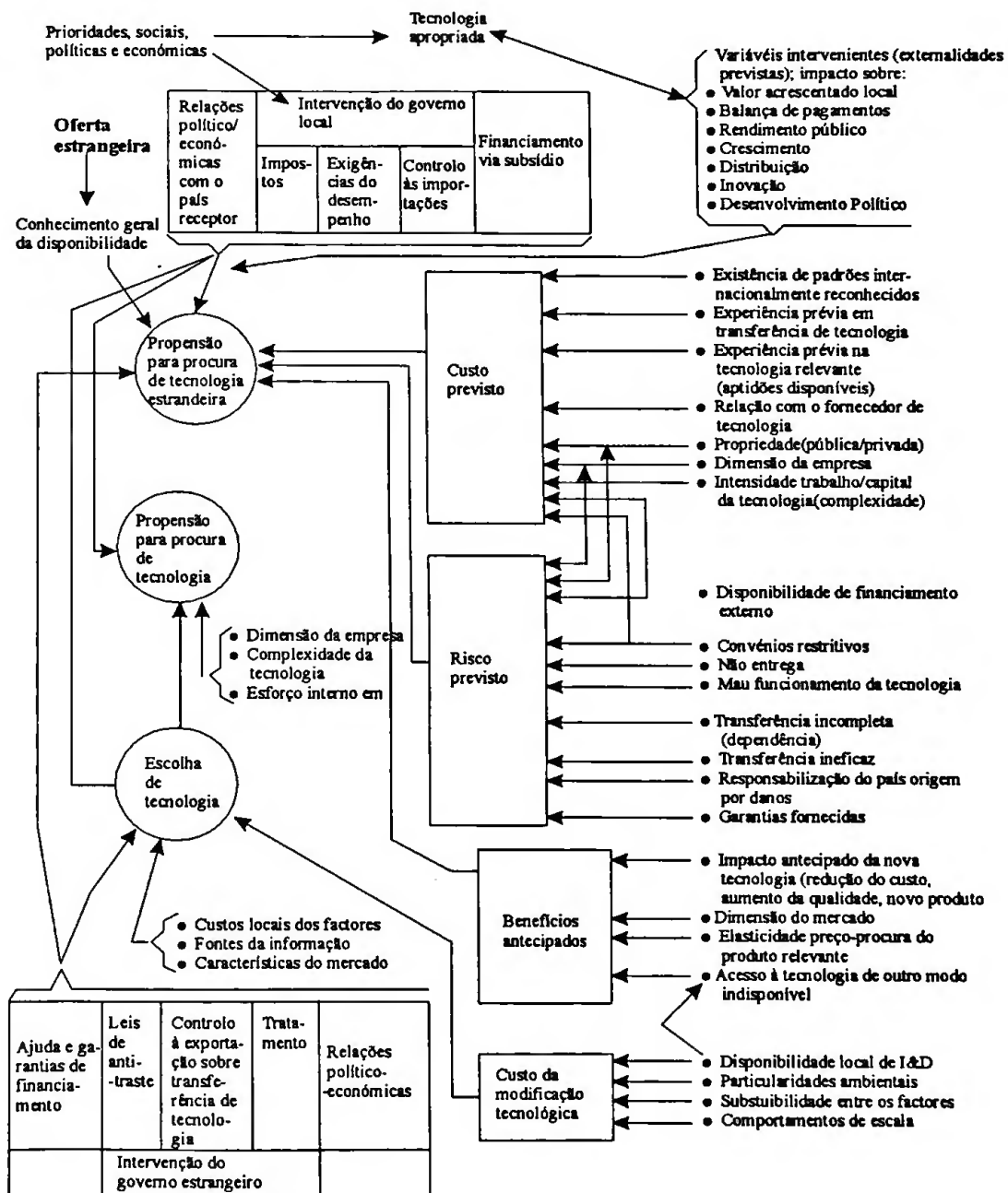


Fig. 3. Relacionamento dos factores do lado da procura no processo de transferência de tecnologia

Uma maneira prática de fazer a leitura destes diagramas, é dizer que a propensão de uma empresa para procurar ou oferecer tecnologia, é uma função da



intervenção governamental do seu país, do historial e dos recursos da própria empresa, do financiamento externo, da previsão dos custos, dos riscos e dos lucros esperados, da propensão da empresa para transferências externas ou internas, da intervenção do governo do país receptor, etc.

Para o receptor, é absolutamente imprescindível quantificar os conhecimentos que pode adquirir e as vantagens que daí lhe advêm resultantes da aplicação dessa tecnologia.

A avaliação e a escolha de uma nova tecnologia é uma decisão importante. Há duas perguntas básicas que devem ser postas, no momento da escolha da tecnologia:

- quais os elementos tecnológicos que o receptor obtém com a transferência?
- que capacidades tecnológicas é que o receptor adquire ao efectuar a transferência?

Na selecção da tecnologia ou dos elementos tecnológicos, quer seja para aumentar a produção existente, quer seja para estabelecer novas linhas de produção, é necessário *identificar as necessidades* e as *condições locais*, assim como *recolher toda a informação* que permita alargar o campo das possibilidades tecnológicas. Uma das razões pelas quais as empresas têm por vezes insucesso nas transferências de tecnologia resulta do facto de não fazerem pesquisas para ser encontrada a melhor solução tecnológica, porque o custo pode ser elevado. No entanto, esses custos podem ser reduzidos se as empresas procurarem os agentes tecnológicos especializados, que tenham economias de escala nas suas pesquisas, e que as podem ajudar a encontrar a solução que melhor funcionará, atendendo às circunstâncias locais.

Por último, devem também ser avaliadas, numa análise de custo- benefício, as perspectivas que as diferentes tecnologias podem abrir à *aquisição* de

*capacidades acrescidas.* A transferência deverá poder ser utilizada como trampolim para desenvolver novas possibilidades tecnológicas.

A história de sucesso duma empresa pode estar na revalorização da produção existente, através de pequenas alterações nos produtos ou nos processos de forma a permitir a melhoria da qualidade do produto ou a diminuição nos custos.

### 1.3.3.2. Factores do lado da oferta

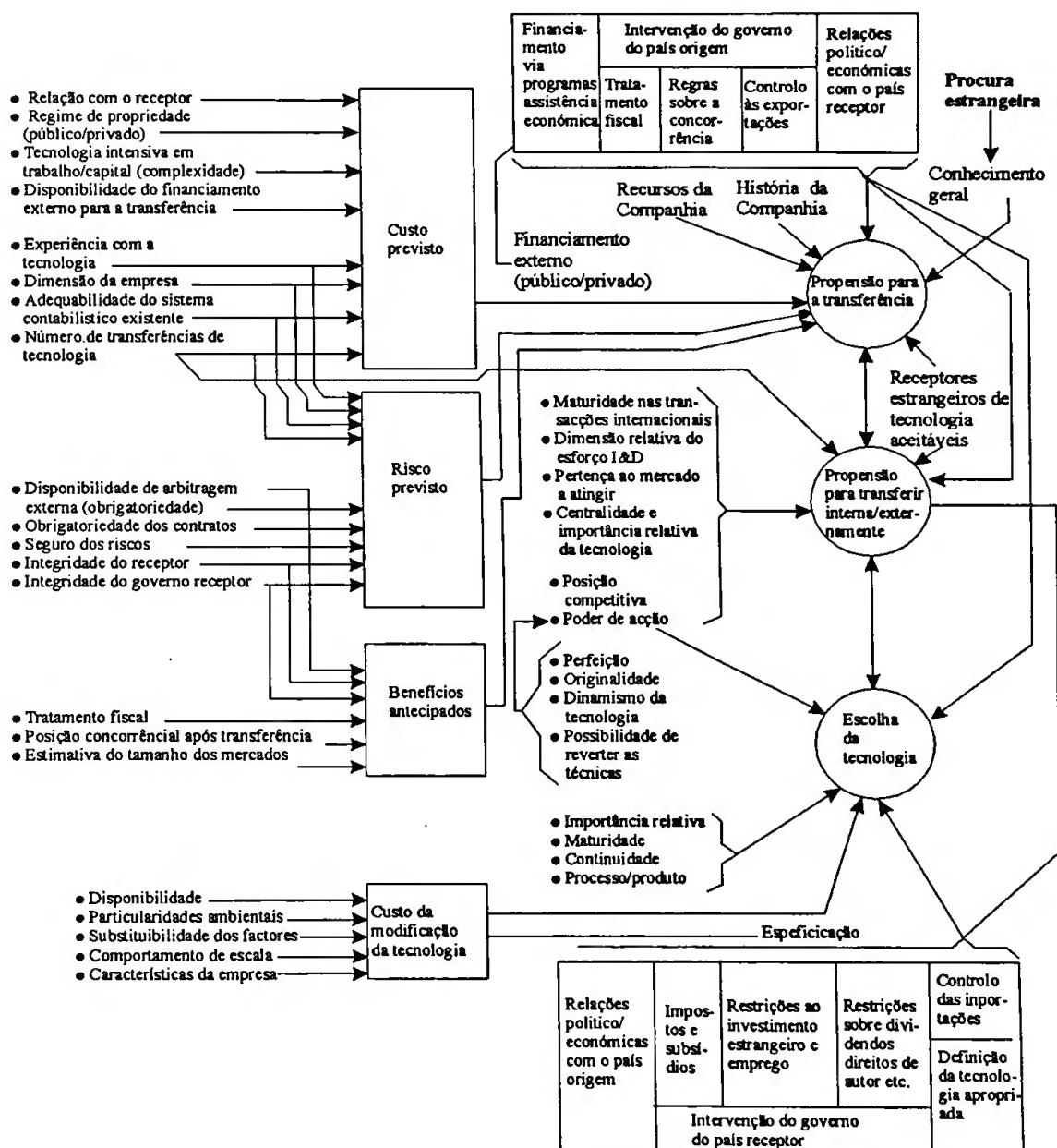


Fig. 4. Relacionamento dos factores do lado da oferta no processo de transferência de tecnologia

A leitura deste diagrama faz-se de forma semelhante. É dizer, por exemplo, que a propensão de uma empresa para transferir tecnologia, é uma função da

intervenção governamental do seu país, do historial e dos recursos da própria empresa, do financiamento externo, da previsão dos custos, dos riscos e dos lucros esperados, da propensão da empresa para transferências externas ou internas, da intervenção do governo do país receptor, etc.

Como é obvio, uma única transferência de tecnologia, não envolve todos os factores que aqui são mencionados. Muitos deles podem ser considerados irrelevantes para uma transferência específica. Mas o objectivo foi contemplar todo o tipo de transferências.

## **2. MODELOS QUANTITATIVOS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA**

### **2.1. Introdução**

Como já atrás foi dito, a tecnologia é actualmente considerada fundamental para o desenvolvimento dos povos. Neste contexto, os países em desenvolvimento para alcançarem uma melhor qualidade de vida têm recorrido cada vez com maior frequência à sua importação, procurando escolher as fontes tecnologicamente mais avançadas.

Tem-se verificado que nem sempre essas experiências de importação de tecnologia têm sido bem sucedidas e, por isso, muitos investigadores se têm interessado em examinar as razões que lhes estão subjacentes. Esta é a origem dos modelos de transferência de tecnologia que vão ser apresentados, analisados e, de algum modo, apreciados no presente capítulo.

Uma primeira abordagem que alguns desses investigadores defenderam foi a transferência de *tecnologia intermédia* e a *cooperação técnica entre países em*

*desenvolvimento* (CTPD), como o melhor caminho para alcançar os objectivos desejados. Entre eles, encontram-se **Sharif e Haq** que em **1980** apresentaram um modelo para estudo e análise deste processo complexo da transferência de tecnologia, tendo em vista uma melhor aferição dos *potenciais tecnológicos dos países em desenvolvimento*. A proposta do modelo, que vai ser apresentado, é mostrar que há *parceiros óptimos*, isto é, há fontes tecnológicas donde a transferência de tecnologia para o país receptor é mais efectiva.

Um outro modelo, apresentado por **Raz, Steinberg, e Ruina** em **1983**, foi proposto com a finalidade de analisar as causas subjacentes ao insucesso verificadas no processo de transferência entre países desenvolvidos. O modelo permite comparar as taxas de desenvolvimento tecnológico do líder e do seguidor e analisar a dinâmica dos respectivos desníveis tecnológicos, sendo as taxas de desenvolvimento expressas em termos de equações emparelhadas.

O modelo apresentado por **Raz e Assa** em **1988** representa uma abordagem logística do modelo apresentado anteriormente por **Raz, Steinberg, e Ruina**.

Por último será apresentado o modelo de **Win** de **1993**, que considera ser possível uma alteração na capacidade de absorção do seguidor durante o processo de transferência.

Neste trabalho é também proposto um modelo de transferência de tecnologia concebido com base nos modelos anteriores. O capítulo termina com um modelo qualitativo que dá uma perspectiva do desenvolvimento das sociedades industrializadas contemporâneas, apresentado por **Krupp** em **1995**. Este modelo assenta na conjugação da teoria dos sistemas de Luhmann com a teoria da inovação de Schumpeter.



## 2.2. Modelo de avaliação dos potenciais tecnológicos de um país

### 2.2.1. Desenvolvimento conceptual do modelo

O sucesso da transferência de uma tecnologia depende não só da capacidade de adaptação da forma original dessa tecnologia, por parte do receptor, às suas condições locais, mas também do desnível tecnológico que ele representa relativamente à fonte donde a tecnologia é transferida.

O modelo matemático de Sharif e Haq, ([cf.17]), apresentado em 1980, é um modelo que se baseia fundamentalmente no aspecto dinâmico e no aspecto espacial do processo de difusão de uma inovação.

Consequentemente, o modelo incorpora, a variável *tempo* por um lado, e um *parâmetro* de avaliação do *nível tecnológico* do receptor, por outro lado. Deste parâmetro dependerá em grande parte o futuro desenvolvimento do receptor, relativamente à tecnologia em causa. O que se pretende é que o parâmetro de nível tecnológico seja uma medida da *capacidade de assimilação* da nova tecnologia, por parte do receptor. Nesse sentido, é uma medida da capacidade de assimilação que tem em conta não só o grau de desenvolvimento tecnológico, que o receptor apresenta, mas também o seu desnível tecnológico relativamente à fonte donde a tecnologia é transferida.

Uma vez que é possível *quantificar* o *nível tecnológico* dos diferentes locais, então podem calcular-se as diferenças entre os níveis tecnológicos de dois locais quaisquer, ou *desnível tecnológico relativo*, e nomeadamente o desnível tecnológico relativo entre o local *fornecedor* e o local *destinatário*. Mais ainda, conhecendo-se o *nível de assimilação* do local destinatário, será possível



descrever quantitativamente um processo de transferência de tecnologia, com base nestas premissas que Sharif e Haq conceberam o respectivo modelo.

### 2.2.2. Hipóteses do modelo

Os principais pressupostos que o modelo impõe podem considerar-se como tendo um carácter bastante genérico. Assim,

- tem de haver um *fornecedor* e um *destinatário*;
- tem de existir *fluxo tecnológico*, devido aos *desníveis tecnológicos* entre o fornecedor- *fonte*, e o destinatário - *receptor*. Aliás, os *fluxos de tecnologia* entre países, regiões, ou sectores industriais são devidos aos *desníveis tecnológicos*, devendo ainda ter-se em atenção que, a *capacidade de assimilação* de um país, região, ou sector industrial para explorar uma tecnologia é determinada pelo seu *nível tecnológico*;
- a tecnologia tem de corresponder às necessidades do receptor, e o receptor tem de ter as potencialidades exigidas;
- a *assimilação* pelo receptor aparece como o *resultado da difusão espacial da tecnologia*, mas a distância geográfica, não é necessariamente um *factor importante* para o processo de transferência tecnológica, como acontece noutros estudos da difusão espacial. Em sua substituição utiliza-se o *desnível tecnológico relativo*, entre o fornecedor e o receptor;
- a *taxa de assimilação* de uma tecnologia, num país, no momento  $t$  é medida pela *difusão dessa tecnologia* até esse momento  $t$ .

### 2.2.3. Formulação do modelo

Seja:

$I_x$  : o índice de tecnologia (a *medida do nível tecnológico*) do fornecedor;

$I_y$  : o índice de tecnologia ( a *medida do nível tecnológico*) do receptor;

Naturalmente, a diferença

$I_x - I_y$  é o *desnível tecnológico* existente.

De acordo com as hipóteses assumidas, existindo desnível tecnológico entre dois locais, então existe na fonte um potencial para um fluxo tecnológico, dependendo a *transferência* desse potencial tecnológico da *capacidade de assimilação* ou *índice de tecnologia do receptor*. Consequentemente, variações no índice de tecnologia do receptor, induzem variações no potencial a transferir, mesmo que o desnível tecnológico relativo permaneça o mesmo.

Na verdade, se

$I_{y1}$  : é o índice de tecnologia do receptor 1

e

$I_{y2}$  : é o índice de tecnologia do receptor 2

sendo,

$I_{x1} - I_{y1} = I_{x2} - I_{y2}$  com  $I_{y1} > I_{y2}$ ,

então,

$I_{x1} > I_{x2}$  , isto é, esta situação só se verifica se o país 1 é tecnologicamente mais avançado que o país 2.

Para se ultrapassar esta possível incerteza os autores introduziram, um novo conceito denominado *Distância Tecnológica Potencial* (DTP), e que se define da seguinte forma:

$$DTP = \frac{\text{Desnível tecnológico relativo entre o fornecedor e o receptor}}{\text{Nível tecnológico do receptor } (I_y)};$$

ou,

$$D = \frac{I_x - I_y}{I_y}.$$

A distância tecnológica potencial permite avaliar a *medida* do *desnível tecnológico relativo* de um local, isto é:

$$\begin{cases} D = 0 & \Leftrightarrow I_y = I_x \\ D = \infty & \Leftrightarrow I_x \gg I_y. \end{cases}$$

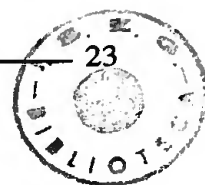
Assim, se pode rapidamente concluir que valores pequenos de D, indicam proximidade de desenvolvimento tecnológico entre a fonte e o receptor, enquanto valores elevados de D representam um grande desnível entre a fonte e o receptor.

Admitindo que a taxa de difusão de uma inovação (cf. [11]), num qualquer momento t, é *proporcional à diferença* entre o número total dos *potenciais aderentes* à inovação, nesse momento t, e o número dos que anteriormente já aderiram à inovação, obtém-se:

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t) \left[ \bar{N} - N(t) \right],$$

sendo,

$N(t)$  : o número acumulado dos aderentes no momento t



$\bar{N}$  : o número total de aderentes do sistema social, momento  $t$   
 $g(t)$  : coeficiente de difusão da inovação.

Adaptando esse resultado, que exprime o modelo fundamental do processo de difusão da inovação, os autores também consideram que a *taxa de assimilação* de uma dada tecnologia, num dado local e num certo momento  $t$ , é *proporcional* ao *nível da assimilação* já existente e ao que *falta alcançar* relativamente à fonte. É notória, como se verá, a similitude entre este modelo e o modelo fundamental de influência interna da difusão da inovação.

Em termos matemáticos a *taxa de assimilação* exprimir-se-á então através da fórmula:

$$\frac{df(D,t)}{dt} = g(D,t) [F(D) - f(D,t)] ,$$

onde

$g(D,t)$  : representa o coeficiente de assimilação

$f(D,t)$  : representa o nível de assimilação do local, no momento  $t$ , com distância tecnológica potencial,  $D$ ;

$F(D)$  : representa o nível máximo de assimilação, que pode ser alcançado pelo local com distância tecnológica  $D$ .

Adicionalmente, os autores do modelo inspiraram-se no chamado *modelo de influência interna* em que

$$g(t) = bN(t),$$

isto é,

$$\frac{dN(t)}{dt} = bN(t) [\bar{N} - N(t)] ,$$

baseado no paradigma (contágio), de que a difusão ocorre *somente* através de contactos interpessoais onde a interacção social é representada por  $N(t) \left[ \bar{N} - N(t) \right]$  e  $b$  é um índice de imitação, também chamado factor de influência interna, porque reflecte a acção que os primeiros aderentes,  $N(t)$  exercem sobre os potenciais aderentes  $\left[ \bar{N} - N(t) \right]$ .

Seguindo esta orientação, **Sharif e Haq** expressaram o coeficiente de assimilação em função do nível de assimilação do local no momento,  $t$ , com distância tecnológica,  $D$ .

Destas circunstâncias, resulta que se pode escrever

$$(2.1) \quad \frac{df(D,t)}{dt} = \psi f(D,t) [F(D) - f(D,t)] ,$$

onde

$$g(D,t) = \psi f(D,t) ,$$

sendo agora

$\psi$  : o coeficiente de imitação ou influência interna, que se considera tradicionalmente constante ao longo do tempo num dado local.

Também o conceito, inferido por alguns investigadores relativamente à difusão espacial da inovação, como por exemplo Morrill (cf. [17]), de que há sempre uma quebra na proporção dos aderentes à medida que aumenta a distância à origem da inovação foi considerado ser aplicável neste processo de transferência. A principal consequência é que a *assimilação* de um local num dado momento *diminui* com a *distância potencial tecnológica*, o que parece perfeitamente razoável.

Como, mais ainda, se tem observado também que o *nível tecnológico* ou a capacidade do país adaptar ou absorver qualquer tecnologia *cresce* ao longo do tempo, e que a *taxa de crescimento segue* mais ou menos um *padrão regular* (curva em forma de “S”), apresentando contudo um desfasamento temporal que pode ser grande no caso dos países menos desenvolvidos, os autores admitiram, devido a esta *semelhança do padrão* do crescimento, e para facilitar os cálculos, que a *distância tecnológica potencial* é provavelmente *constante* ao longo de pequenos períodos de tempo entre qualquer par *fornecedor/ receptor*. Incluindo estes últimos considerandos, vem que

$$\psi = A e^{-D} , \text{ com } A \text{ e } D \text{ constantes,}$$

obtendo-se então a equação diferencial, de 1ª ordem,

$$\frac{df(D,t)}{dt} = A e^{-D} f(D,t) [F(D) - f(D,t)].$$

Integrando esta equação de variáveis separáveis, obtém-se,

$$(2.2) \quad f(D,t) = \frac{F(D)}{1 + \frac{F(D) - f(D,t_0)}{f(D,t_0)} e^{-F(D) A e^{-D} (t-t_0)}} .$$

Está determinada a função que mede o *nível de assimilação* de um local com distância tecnológica  $D$ , no momento  $t$ , relativamente a uma dada tecnologia.

Atendendo a que o nível de assimilação do receptor tem uma relação positiva com o seu nível tecnológico, é evidente que o nível final de assimilação será condicionado pela distância tecnológica potencial desse receptor. Assim,

considera-se que o *nível final de assimilação* é também *exponencial decrescente de D*, para pequenos intervalos de tempo, isto é, considere-se que

$$\frac{dF(D)}{dD} = Be^{-D} \text{ sendo } B \text{ uma constante.}$$

Integrando, vem:

$$F(D) = -Be^{-D} + \alpha \text{ com } \alpha, \text{ uma constante de integração.}$$

A determinação das constantes passa pelas duas condições de fronteira seguintes:

1. Se a distância tecnológica potencial do receptor relativamente à fonte é muito grande, o seu nível tecnológico é demasiado pequeno, e portanto o país não tem capacidade ou recursos para utilizar essa tecnologia, isto é:

$$F(D) = 0 : \text{ quando } D = \infty ,$$

$$\lim_{D \rightarrow \infty} F(D) = \alpha = 0 , \text{ portanto } F(D) = -Be^{-D} ;$$

2. Se o país está na vanguarda duma tecnologia significa que tem o nível tecnológico mais elevado relativamente a essa tecnologia, quando comparado com qualquer outro país, e portanto tem distância potencial tecnológica nula, isto é:

$$F(D) = F_{\text{MÁX}} : \text{ quando } D = 0 ,$$

$$F(0) = -B = F_{\text{MÁX}} .$$

Resulta então dos pressupostos que

$$(2.3) \quad F(D) = F_{\text{MÁX}} e^{-D}.$$



Substituindo o valor de  $F(D)$  dado por (2.4) em (2.3) obtém-se

$$(2.4) \quad f(D, t) = \frac{F_{MAX} e^{-D}}{1 + \frac{F_{MAX} e^{-D} - f(D, t_0)}{f(D, t_0)} e^{-F_{MAX} A e^{-2D} (t-t_0)}} .$$

A solução do modelo pode apresentar-se com outro aspecto. Assim, atendendo a que

$$\frac{f(D, t)}{F_{MAX} e^{-D} - f(D, t)} = \frac{1}{\frac{F_{MAX} e^{-D}}{f(D, t)} - 1} ,$$

vem que

$$\frac{f(D, t)}{F_{MAX} e^{-D} - f(D, t)} = \frac{f(D, t_0)}{F_{MAX} e^{-D} - f(D, t_0)} e^{AF_{MAX} e^{-2D} (t-t_0)} .$$

Logaritmizando ambos os membros vem

$$(2.5) \quad \ln \left[ \frac{f(D, t)}{F_{MAX} e^{-D} - f(D, t)} \right] = c_1 + c_2 t ,$$

sendo

$$c_1 = \ln \left[ \frac{f(D, t_0)}{F_{MAX} e^{-D} - f(D, t_0)} \right] - AF_{MAX} e^{-2D} t_0 ,$$

e

$$c_2 = AF_{MAX} e^{-2D} .$$

Fica agora bastante óbvio que sendo conhecida a medida do desnível tecnológico relativo,  $D$ , e o nível de assimilação de um local no momento,  $t_0$ , pode utilizar-se este modelo para determinar os potenciais de transferência de tecnologia, isto é, o índice tecnológico da fonte óptima para esse local. Uma vez estimado os *desníveis relativos* entre o nível tecnológico do receptor e os das várias fontes, poder-se-ão calcular os respectivos *potenciais tecnológicos* existentes para a transferência. Desta forma pode escolher-se a melhor fonte, quer dizer, o país donde se pode adquirir a tecnologia com maior viabilidade de sucesso e com custos mínimos de adaptação.

#### 2.2.4. Aplicação: análise e discussão

No exemplo que os autores apresentam, e que se vai transcrever de forma muito sucinta, todos estes conceitos são convenientemente ilustrados. Também com base nele se comenta de modo mais fundamentado o modelo em apreciação.

**Sharif e Haq** concretizaram este modelo com um exemplo relativo à difusão da tecnologia informática, tendo utilizado a *memória total* instalada num país, para medir o *grau de assimilação* da tecnologia informática nesse país.

A opção tomada foi baseada no facto de que a utilização efectiva do computador e a configuração do sistema são determinadas pelo processador central. É evidente, que o problema de transferência aqui focado é um problema de assimilação, isto é, trata da utilização efectiva do computador na resolução dos problemas reais do país receptor.

Os autores determinaram em primeiro lugar o índice de tecnologia dos diferentes países em estudo. Os países escolhidos foram: Estados Unidos, Japão, Austrália, Filipinas e Tailândia. Consideraram, portanto, um conjunto onde estão

representados países desenvolvidos, países moderadamente desenvolvidos, e países em desenvolvimento.

O índice de tecnologia foi baseado nos seguintes critérios:

- condição socioeconómica ;
- infra-estrutura científica e tecnológica ;
- estado actual dessa tecnologia .

Os índices tecnológicos encontrados para os diferentes países, relativamente à tecnologia em causa e definidos de acordo com os pressupostos, foram os seguintes:

**Tabela 1**

Índices de Tecnologia

Países em análise	Índice numa escala 0-1
Estados Unidos	0.8989
Japão	0.7338
Austrália	0.5335
Filipinas	0.2028
Tailândia	0.1247

Em seguida para determinar os parâmetros do modelo,  $c_1$  e  $c_2$ , utilizaram dados históricos de cada um dos países relativamente aos *níveis de assimilação* respectivos e os correspondentes valores da *distância tecnológica potencial relativa* dada pela equação (2.5). Foi considerado para *nível máximo de*



*assimilação* o nível de assimilação dos *Estados Unidos*, isto é a fonte mais desenvolvida relativamente à tecnologia informática.

Recordando que o objectivo dos autores do modelo, foi tentar descobrir as razões das experiências não concretizadas por parte de alguns países em desenvolvimento, em processos de transferência de tecnologia, e propôr um modelo de modo a que fosse possível identificar a fonte óptima para cada país receptor, é esta também a finalidade principal do exemplo, identificar a fonte óptima para cada país receptor.

Neste contexto, foram calculados os potenciais de transferência entre cada país e as diferentes fontes possíveis, de forma a encontrar para cada receptor a melhor fonte, isto é, relativamente ao qual existe o maior potencial para a transferência. Os resultados obtidos para os países em análise foram:

**Tabela 2**

Índices de Tecnologia das fontes óptimas correspondentes

País receptor	Índice de tecnologia do receptor	Índice de tecnologia da fonte óptima
Tailândia	0.1247	0.3329
Filipinas	0.2028	0.4280
Austrália	0.5335	0.6915
Japão	0.7338	0.8172

Os autores fizeram algumas simulações para a Austrália, Japão, Filipinas e Tailândia tendo tirado as seguintes conclusões :

- quando o DPT do país receptor relativamente à fonte é muito grande, a transferência é insignificante;
- quando o DPT do país receptor relativamente à fonte é muito pequeno, a transferência é também insignificante;
- entre os dois extremos, há uma região onde a diminuição do DPT tem efeito positivo no potencial de transferência, além da qual o efeito é negativo.

O modelo de Sharif e Haq tem virtudes e alguns pontos fracos. O aspecto mais notável do modelo é na verdade, o facto de pôr em evidência que é fundamental que o receptor compare o *desnível tecnológico* que o separa dos possíveis fornecedores relativamente à tecnologia em questão, antes de fazer qualquer acordo de transferência.

Um dos pontos fracos será o facto da formulação ter sido baseada no modelo de influência interna, e não no modelo de influência mista, uma vez que tal opção ignora a influência poderosa que os “mass média” exercem, ou podem exercer, no processo de difusão de uma inovação. Relativamente ao parâmetro utilizado para medir o nível de tecnologia informática não parece ser o mais apropriado, uma vez que a velocidade operativa, por exemplo, é actualmente da maior importância, mas isto é mais uma questão de pormenor. No entanto, exemplifica como todos os aspectos exigem uma análise cuidadosa e estão sujeitos também a critérios subjectivos e pessoais.

## 2.3. Modelo de transferência e de "Perseguição Tecnológica"

### 2.3.1. Introdução

Enquanto que países, como por exemplo o Japão, têm tido grande sucesso na absorção de tecnologia estrangeira, outros há que embora sendo relativamente desenvolvidos, como a antiga União Soviética, não são capazes de atingir a qualidade do produto do país donde a tecnologia é transferida. Neste contexto, Raz, Steinberg e Ruina, (cf. [14]), apresentaram em 1983 um **modelo quantitativo** para análise dos desenvolvimentos tecnológicos de cada um dos países envolvidos no processo de transferência, assim como dos respectivos desníveis tecnológicos, e testaram-no na análise do desenvolvimento também da tecnologia informática.

O objectivo do modelo foi realçar o papel da transferência de tecnologia no desenvolvimento tecnológico, comparando as taxas de desenvolvimento do *líder* ("leader" em inglês) e do *seguidor* ("follower"), quantificando a "*perseguição tecnológica*" ("Catch-Up") dessa evolução, através de *equações diferenciais emparelhadas* ("coupled") como se dum jogo se tratasse.

Consideraram que não foi demonstrada, duma forma convincente, a analogia estabelecida por Sharif e Haq, entre o processo de transferência, particularmente da tecnologia informática - porventura a mais importante do nosso tempo - e a difusão espacial da inovação.

As principais objecções dirigiram-se para o *parâmetro* utilizado para medir o *grau de assimilação*. Uma vez que a aplicação prática dos dois modelos se situou em torno da mesma tecnologia, puderam ser detectadas objecções concretas que mostraram com bastante clareza como pode ser discutível a introdução de tal parâmetro. No caso concreto da tecnologia informática, foi argumentado que:

1. É uma *variável extensiva*, dependendo da dimensão do sistema, enquanto que a tecnologia é na maior parte dos casos, uma *variável intensiva*;
2. *Não reflecte a arquitectura do computador moderno*, na qual outros factores, tais como a velocidade operativa e o tempo partilhado, são da maior importância.

### 2.3.2. Desenvolvimento conceptual do modelo

A construção do modelo baseou-se no conhecimento de que o desenvolvimento de uma dada tecnologia segue uma curva logística cujo traçado se assemelha à letra "S", (cf. [14]), também chamada curva de Pearl por ter sido proposta já no séc. XIX, pelo demógrafo Raymond Pearl. A forma exacta da curva pode diferir no declive e na assíntota, mas constata-se que começa sempre por ser exponencial e, à medida que se manifestam os avanços da tecnologia, se vai desviando da forma exponencial, até que se aproxima assintoticamente, no seu estágio final, do limite estabelecido ao desenvolvimento.

Como se pode observar na figura 1, o desenvolvimento começa vagarosamente, *quase rectilíneo*, no começo, tendo-se a chamada *fase 1*; depois, num curto espaço de tempo, o nível de aprendizagem *cresce* cada vez mais *rapidamente*, o que caracteriza a *fase 2*; e finalmente *atinge* assintoticamente um *limite*, tendo-se a *fase 3*. Esta fase traduz ou uma aproximação dos limites físicos da tecnologia ou da saturação do mercado.

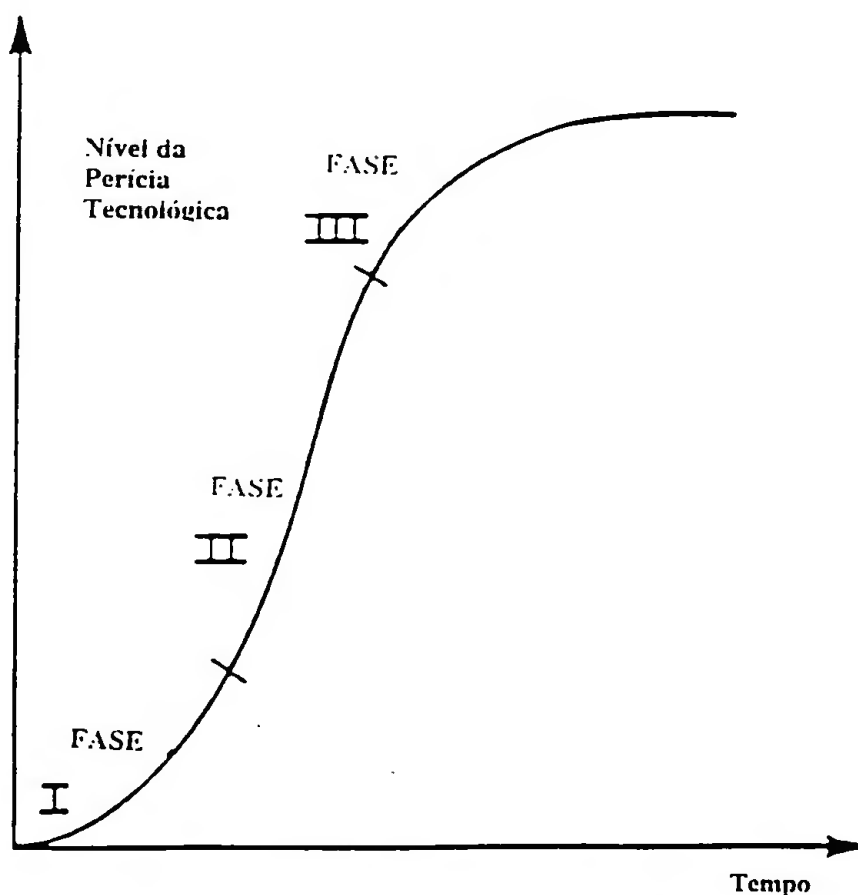


Fig.1. Fases do desenvolvimento da perícia tecnológica

Com base neste comportamento pode inferir-se que o processo de transferência efectiva de tecnologia, por parte dum país seguidor, poderá portanto ser descrito através das fases seguintes:

- *Fase inicial*, na qual o desenvolvimento é lento e a capacidade de absorção para a transferência de tecnologia é demasiado limitada, devido à carência



das infra-estruturas necessárias para se absorver e explorar a tecnologia disponível;

- *Fase de aprendizagem*, na qual a taxa de desenvolvimento é muito elevada e depende não só dos recursos existentes, como também do desnível entre o líder e o seguidor e ainda da taxa de transferência da tecnologia;
- *Fase de redução* ou eliminação do desnível.

### 2.3.3. Hipóteses e formulação do modelo

As hipóteses do modelo são:

- O líder e o seguidor desenvolvem-se de forma *independente*;
- A *perícia tecnológica*,  $P$ , pode ser medida através de qualquer função considerada adequada;
- A *perícia tecnológica*,  $P$ , evolui exponencialmente com o tempo;
- A medida da *perícia tecnológica*, cresce *linearmente* com o tempo.

Das hipóteses subjacentes ao modelo resulta que se pode escrever, relativamente ao líder

$x = \ln P$ , sendo  $x$  uma medida da perícia tecnológica,  $P$ ;

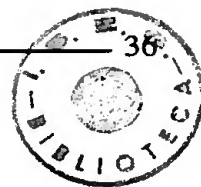
$\frac{dx_L}{dt} = k_L$ , sendo  $k_L$  a taxa da perícia tecnológica;

$x_L(t) = x_L^0 + k_L t$ , sendo  $x_L(t)$  o desenvolvimento tecnológico do líder;

$x_L(0) = x_L^0$ , sendo  $x_L(0)$  o desenvolvimento tecnológico do líder no momento  $t=0$ .

A taxa de desenvolvimento tecnológico para o seguidor, após ter sido iniciado o processo de transferência, será:

$$\frac{dx_s}{dt} = k_s + f_1(x_s) f_2(x_L, x_s),$$



onde

$\frac{dx_s}{dt}$  é a taxa de desenvolvimento após transferência,

$k_s$  é a taxa inata de aprendizagem e,

$f_1(x_s) f_2(x_L, x_s)$  exprime a contribuição da transferência da tecnologia.

Os autores consideraram que a forma mais simples para as duas funções será:

$$f_1(x_s) = \begin{cases} 0 & : \text{se } x_s \text{ é inferior a determinado limiar.} \\ k_T & : \text{se } x_s \text{ ultrapassa esse limiar.} \end{cases}$$

$$f_2(x_L, x_s) = (x_L - x_s) .$$

### Justificação das expressões apresentadas

- As funções  $f_1(x_s)$  e  $f_2(x_L, x_s)$  são funções genéricas, que implicam que a taxa do desenvolvimento tecnológico futuro do seguidor depende da sua taxa inata de aprendizagem no domínio em causa e do desnível existente entre eles.
- Quando a taxa inata de aprendizagem do seguidor,  $k_s$ , é significativamente menor que a segunda parcela, o progresso tecnológico do seguidor depende do desnível existente entre este e o líder. À medida que o desnível decresce, a contribuição da transferência de tecnologia, vai tornar-se menos significativa.
- A forma como está definida a função  $f_1(x_s)$ , é coerente com a experiência empírica.

Parece ser razoável aceitar que um país muito pouco desenvolvido tecnologicamente, quase nada poderá absorver em termos de transferência tecnológica, e que só depois de ter atingido um patamar mínimo de

desenvolvimento tecnológico, terá capacidade para assimilar a tecnologia disponível  $k_T$ , *taxa de transferência* que se considera *constante*.

Este modelo quantitativo permite, como já foi dito, comparar as taxas de desenvolvimento do líder e do seguidor, de modo a possibilitar o cálculo dos respectivos progressos da *perícia do líder* e da *aprendizagem do seguidor*, após a transferência, assim como *aferrir* os respectivos *desníveis tecnológicos*.

Destas considerações resulta:

$$\begin{aligned} \frac{dx_s}{dt} &= k_s + k_T(x_L - x_s); \\ \frac{dx_s}{dt} + k_T x_s &= k_s + k_T x_L; \\ (2.6) \quad \frac{dx_s}{dt} + k_T x_s &= k_s + k_T x_L^0 + k_T k_L t, \end{aligned}$$

equação diferencial linear não homogênea que tem como solução geral:

$$\begin{aligned} x_s(t) &= e^{-k_T t} \left[ C + \int (k_s + k_T x_L^0 + k_T k_L t) e^{k_T t} dt \right] \\ &= e^{-k_T t} \left\{ C + \frac{k_s}{k_T} e^{k_T t} + x_L^0 e^{k_T t} + \left[ k_L (e^{k_T t} t - \int e^{k_T t} dt) \right] \right\} \\ &= e^{-k_T t} \left[ C + \frac{k_s}{k_T} e^{k_T t} + x_L^0 e^{k_T t} + k_L \left( e^{k_T t} t - \frac{e^{k_T t}}{k_T} \right) \right], \end{aligned}$$

donde,

$$x_s(t) = \frac{k_s - k_L}{k_T} + x_L^0 + k_L t + C e^{-k_T t}, \text{ sendo } C \text{ a constante de integração.}$$

Para

$$t = 0 \Rightarrow x_s(0) = x_s^0 \text{ e } C = x_s^0 - x_L^0 - \frac{k_s - k_L}{k_T}.$$

O desenvolvimento tecnológico do seguidor é portanto dado por:

$$(2.7) \quad x_s(t) = x_L^0 + k_L t - \frac{k_L - k_S}{k_T} - \left[ (x_L^0 - x_S^0) - \frac{k_L - k_S}{k_T} \right] e^{-k_T t}.$$

A solução de equilíbrio, para grandes períodos de tempo, é:

$$x_s(t) = x_L^0 + k_L t - \frac{k_L - k_S}{k_T}.$$

É evidente que o desnível tecnológico, entre o líder e o seguidor, pode não ser necessariamente ultrapassado pelo seguidor, uma vez que ambos continuam a desenvolver-se de forma independente, mantendo portanto um esforço constante de desenvolvimento tecnológico, de acordo com a hipótese formulada. O impacto da transferência de tecnologia depende, não só da capacidade tecnológica do seguidor, mas sobretudo da fase do ciclo de vida em que se encontra essa tecnologia no momento da transferência. Na maior parte dos casos, a tecnologia transferida contribui, duma forma significativa, para o desenvolvimento do país receptor. No entanto podem distinguir-se duas situações:

1. O seguidor não só *elimina o desnível* como até *ultrapassa o líder*. Esta situação pode ocorrer se o líder, ao atingir os limites previstos para essa tecnologia, abandonar os esforços de inovação (ver figura 2-a);
2. O seguidor *aumenta o desnível* existente. Esta situação ocorre quando o potencial transferido tem pequeno impacto na taxa de desenvolvimento do seguidor (ver figura 2-b).

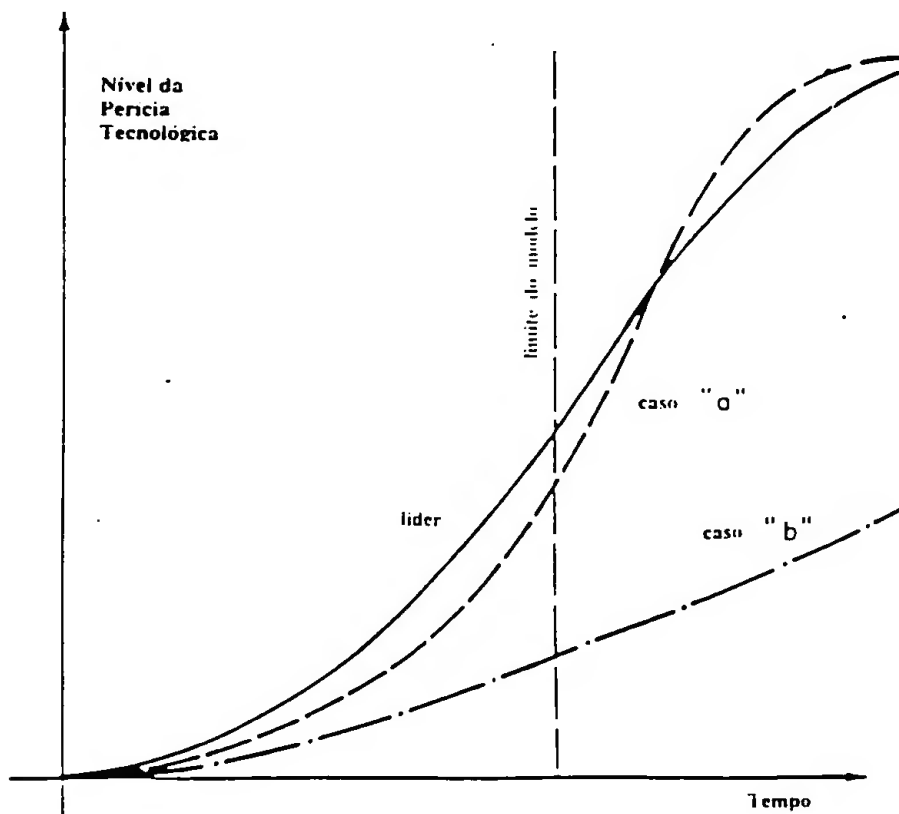


Fig. 2. Comparação do desenvolvimento do líder com dois tipos de seguidores. Caso(a): Seguidor com elevada capacidade de aprendizagem. Caso (b): Seguidor com capacidade de aprendizagem relativamente baixa.

Pela importância que representa o desnível final do seguidor no processo de transferência efectiva, Raz, Steinberg e Ruina, apresentaram o desenvolvimento tecnológico do seguidor, em função dos respectivos *desníveis* tecnológicos *inicial, intermédio e final*.

**Desnível tecnológico:**  $G = x_L - x_S$

Substituindo o valor de  $x_S$  dado por (2.7) vem:

$$(2.8) \quad G = x_L - x_S = \frac{k_L - k_S}{k_T} + \left[ (x_L^0 - x_S^0) - \frac{k_L - k_S}{k_T} \right] e^{-k_T t}.$$

Quando os níveis iniciais de desenvolvimento tecnológico são iguais, como acontece frequentemente, uma vez que está a ser tratado o caso dos países desenvolvidos, a solução de equilíbrio para  $t \rightarrow \infty$  é

$$G_{\infty} = \frac{(k_L - k_S)}{k_T}.$$

Deste modo, o desenvolvimento tecnológico do seguidor num determinado momento  $t$ , pode ser expresso através da fórmula seguinte:

$$x_S(t) = x_L(t) - G_{\infty} - (G_0 - G_{\infty}) e^{-k_T t};$$

$$G_0 = x_L^0 - x_S^0 \quad : \text{ desnível inicial;}$$

$$G_{\infty} = \frac{(k_L - k_S)}{k_T} \quad : \text{ desnível assintótico ;}$$

$$G_{\infty} e^{-k_T t} \quad : \text{ desnível intermédio;}$$

$$x_L(t) = x_L^0 + k_L t \quad : \text{ desenvolvimento tecnológico do líder.}$$

Deve ainda observar-se que foi só a partir da segunda metade do nosso século que a transferência de tecnologia e os *desníveis tecnológicos* começaram a ter importância fundamental, e a serem considerados como o fulcro das disparidades económicas existentes entre os países industrializados do Norte e os países do Sul, em fase de industrialização. O estudo é ainda, portanto, e de certa forma, um tanto incipiente.

Um outro aspecto interessante, é que se tem verificado que o desenvolvimento tecnológico em alguns países *seguidores* pode ser atribuído também à mobilização dos recursos disponíveis a nível interno, como por exemplo, no Japão. No entanto há países onde a absorção da tecnologia transferida, por uma ou outra razão, não contribui para a melhoria na qualidade da sua produção,



quando comparada com a do país fornecedor da tecnologia. Vão ser simuladas algumas situações.

### 2.3.4. Aplicações: análise e discussão

Com base no modelo, foram ensaiadas diferentes formas de comportamento, com a finalidade de analisar a dinâmica dos respectivos desníveis entre o líder e o seguidor. A unidade de medida das respectivas taxas está expressa em (anos)<sup>-1</sup>.

Em primeiro lugar analisou-se a influência da relação existente entre a taxa inata de aprendizagem do seguidor e da perícia do líder, na evolução dos desníveis do seguidor, considerando o desnível inicial nulo. Foram também analisadas situações semelhantes relativamente à variação da taxa de transferência de tecnologia.

Embora os autores do modelo tenham feito considerações exclusivamente com base na nulidade do desnível tecnológico inicial, foram também analisadas as mesmas situações considerando que o desnível inicial é positivo. A justificação para isto reside em considerar-se que talvez esta perspectiva seja, por vezes, mais próxima da realidade do seguidor. Vão ser, portanto, apresentadas as diferentes situações criadas:

#### Caso A

$$\begin{cases} G_0 = x_L^0 - x_S^0 = 0 \\ k_T = \text{constante} \\ k_L = \text{constante} \end{cases} \quad \text{e } k_S \text{ variável}$$

donde,

$$G(t) = x_L - x_S = \frac{k_L - k_S}{k_T} (1 - e^{-k_T t}) .$$

## Situação A.1

$k_L \gg k_S$  : taxa de desenvolvimento do líder muito maior que a do seguidor.

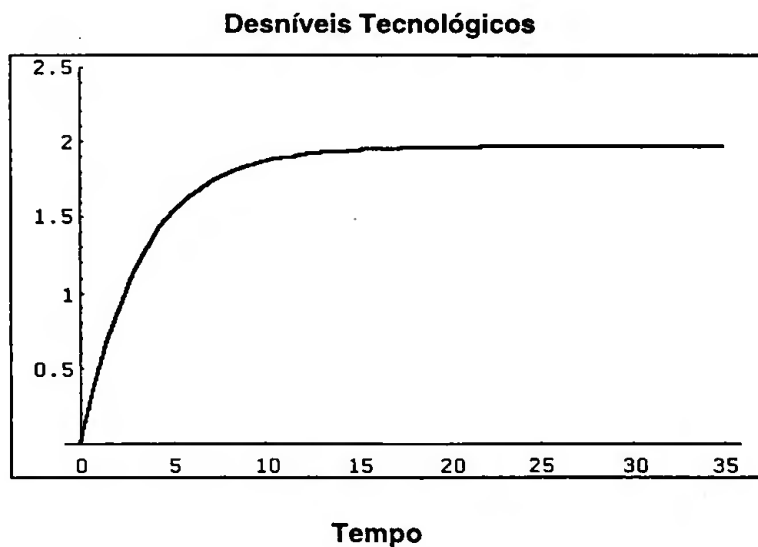
$$\begin{cases} k_T = .3 \\ k_L = .6 \end{cases} \quad \text{e} \quad k_S = .01$$

e

$$G_0 = 0.$$

A função dos desníveis é, neste caso,

$$G(t) = \frac{.59}{.3} (1 - e^{-.3t}).$$



O desnível assintótico é

$$G_{\infty} = 1.97.$$



## Situação A.2

$k_L \approx k_S$  : taxas de desenvolvimento relativamente semelhantes.

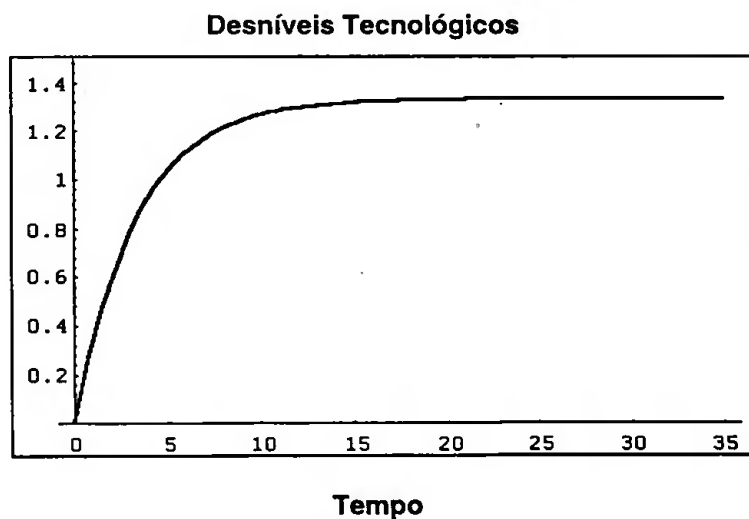
$$\begin{cases} k_T = .3 \\ k_L = .6 \end{cases} \quad \text{e} \quad k_S = .2$$

e

$$G_0 = 0.$$

Para esta situação a função dos desníveis é

$$G(t) = \frac{4}{.3} (1 - e^{-.3t}).$$



Neste caso, o desnível assintótico, é

$$G_{\infty} = 1.33.$$

Observando os gráficos das respectivas funções, pode concluir-se que o desnível assintótico, na situação A.2, é pouco maior que 1, ( $G_{\infty} = 1.33$ ), enquanto que na situação A.1 o desnível assintótico é quase igual a 2, ( $G_{\infty} = 1.97$ ).

Como se vê, quando as taxas inatas de desenvolvimento do líder e do seguidor são semelhantes o desnível assintótico é relativamente pequeno. Ao contrário, quando a taxa de desenvolvimento do seguidor é significativamente mais pequena que a do líder, o desnível tecnológico cresce mais rapidamente desde o começo e afasta-se bastante mais do valor anterior.

## Caso B

Vão ser agora criadas duas situações com a finalidade de detectar a influência operada, no desnível tecnológico, pelas diferentes taxas de transferência. De modo semelhante ao que se fez anteriormente, começa por considerar-se o desnível inicial nulo, isto é:

$$\begin{cases} G_0 = x_L^0 - x_S^0 = 0 \\ k_S = \text{constante} \quad \text{e} \quad k_T \text{ variável} \\ k_L = \text{constante}, \end{cases}$$

donde,

$$G(t) = x_L - x_S = \frac{k_L - k_S}{k_T} (1 - e^{-k_T t}).$$

## Situação B.2

$k_T \ll k_S$  : taxa de transferência muito menor que a taxa de absorção do seguidor.

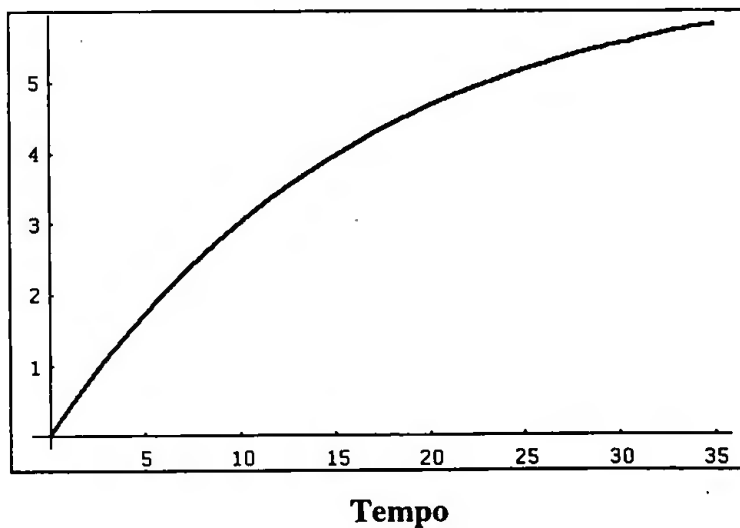
$$\begin{cases} k_S = .2 \\ k_L = .6 \end{cases} \text{ e } k_T = .06$$

$$G_0 = 0.$$

A função dos desníveis é agora:

$$G(t) = \frac{.4}{.06} (1 - e^{-.06t}).$$

Desníveis Tecnológicos



O desnível assintótico é, portanto,

$$G_{\infty} = 6.67.$$

Esta análise de comportamento dos desníveis, pode ser útil, tanto para os países altamente industrializados, como para os países menos industrializados.

Verifica-se, na primeira destas situações, que o desnível assintótico além de ser pequeno é atingido num curto espaço de tempo, por volta do 8º ano após ter sido efectuada a transferência de tecnologia. No entanto, para a segunda situação observa-se que o desnível final é quase o quántuplo do desnível anterior, e só é atingido depois de terem decorridos mais de 35 anos.

Considerem-se, agora, as situações anteriores a que se junta a condição, mais realista, do desnível inicial ser diferente de zero, (se bem que aparentemente o modelo se tenha embora o modelo se tenha destinado essencialmente, aos países desenvolvidos). Tem-se:

$$\begin{cases} x_L^0 = .6 \text{ e } x_S^0 = .02 \\ G_0 = .6 - .02 = .58, \end{cases}$$

sendo agora

$$G(t) = x_L - x_S = \frac{k_L - k_S}{k_T} + \left[ (x_L^0 - x_S^0) - \frac{k_L - k_S}{k_T} \right] e^{-k_T t}.$$

**Situação A.3**

$k_L \gg k_S$  : taxa de desenvolvimento do líder muito maior que a do seguidor.

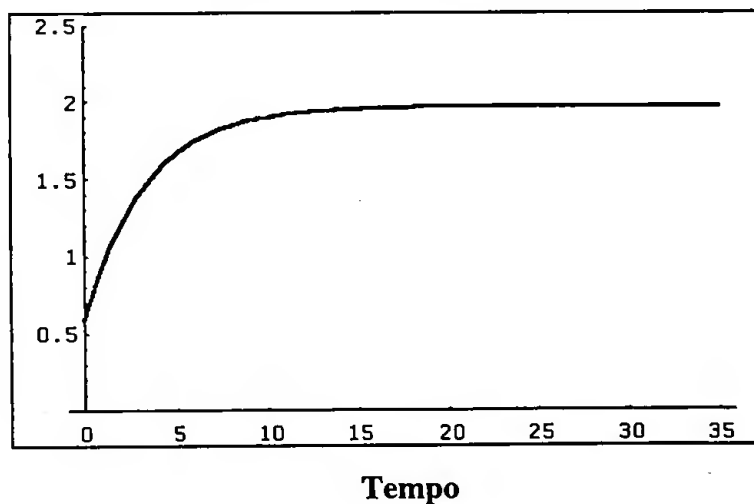
$$\begin{cases} k_T = .3 \\ k_L = .6 \end{cases} \quad e \quad k_S = .01$$

$$G_0 = .6 - .02 = .58.$$

A função dos desníveis passará a ser

$$G(t) = \frac{.59}{.3} + \left( .58 - \frac{.59}{.3} \right) e^{-.3t}.$$

**Desníveis Tecnológicos**



O desnível assintótico é agora

$$G_{\infty} = 1.97.$$

### Situação A.4

$k_L \approx k_S$  : taxas de desenvolvimento relativamente semelhantes.

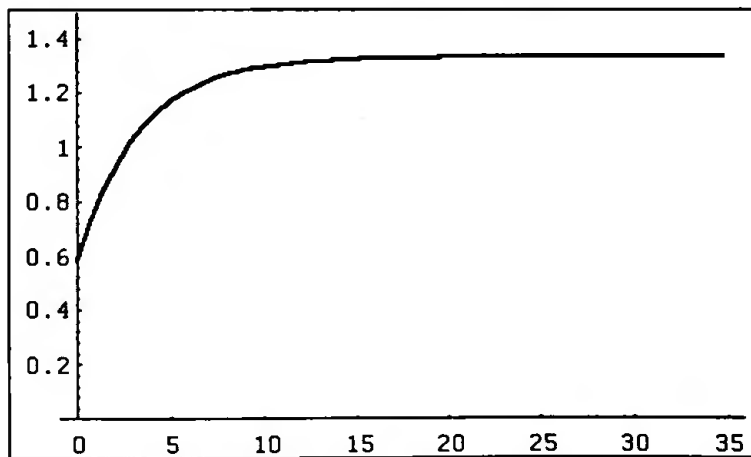
$$\begin{cases} k_T = .3 \\ k_L = .6 \end{cases} \quad e \quad k_S = .2$$

$$G_0 = .6 - .02 = .58.$$

Neste outro caso a função será:

$$G(t) = \frac{.4}{.3} + \left( .58 - \frac{.4}{.3} \right) e^{-.3t}.$$

Desníveis tecnológicos



Tempo

O desnível assintótico é, portanto,

$$G_{\infty} = 1,33.$$

### Situação B.3

$k_T \approx k_S$  : taxa de transferência e taxa de absorção relativamente semelhantes.

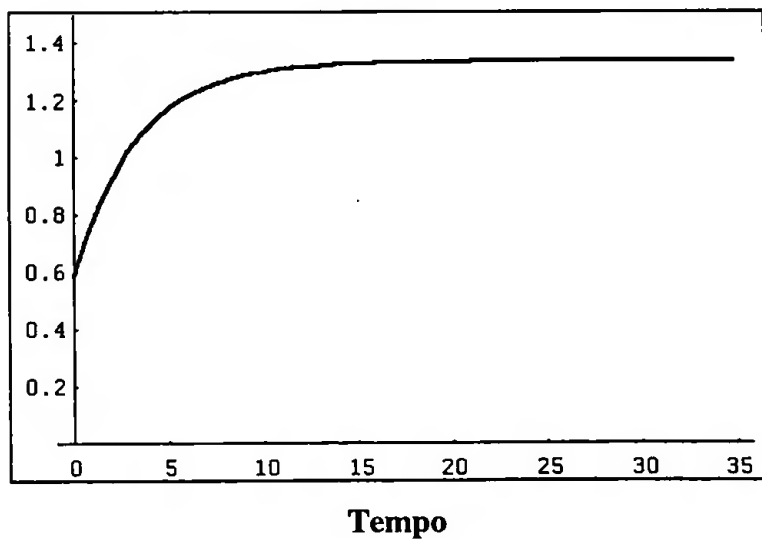
$$\begin{cases} k_S = .2 \\ k_L = .6 \end{cases} \text{ e } k_T = .3$$

$$G_0 = .6 - .02 = .58.$$

A função dos desníveis resulta

$$G(t) = \frac{.4}{.3} + \left( .58 - \frac{.4}{.3} \right) e^{-.3t}.$$

**Desníveis Tecnológicos**



O desnível assintótico é agora

$$G_{\infty} = 1.33.$$

### Situação B.4

$k_T \ll k_S$  : taxa de transferência muito menor que a taxa de absorção do seguidor.

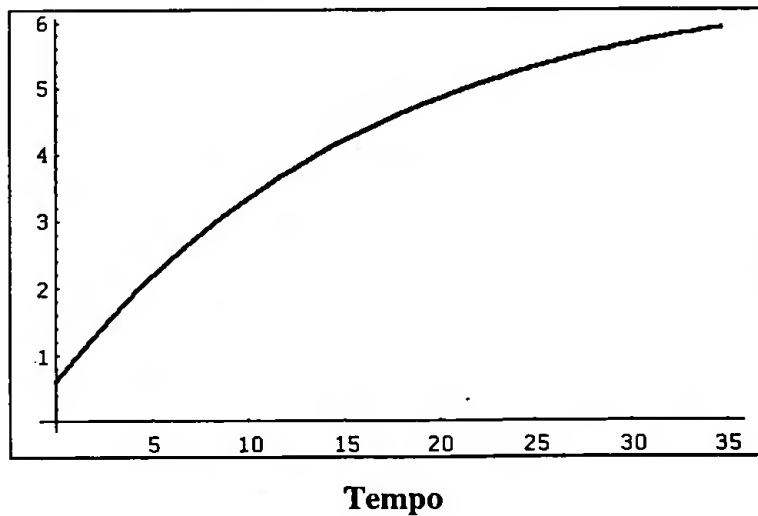
$$\begin{cases} k_S = .2 \\ k_L = .6 \end{cases} \text{ e } k_T = .06$$

$$G_0 = .6 - .02 = .58.$$

Neste caso, a função dos desníveis será

$$G(t) = \frac{.4}{.06} + \left( .58 - \frac{.4}{.06} \right) e^{-.06t}.$$

Desníveis Tecnológicos



O desnível assintótico é, portanto,

$$G_{\infty} = 6.67$$

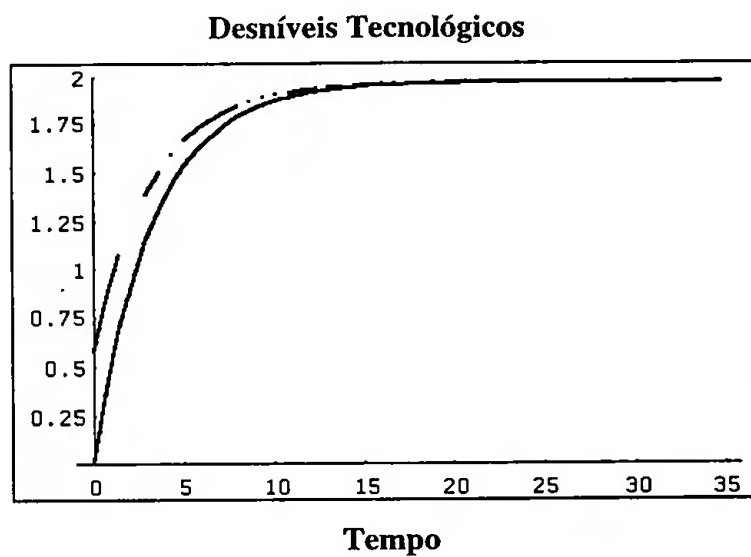
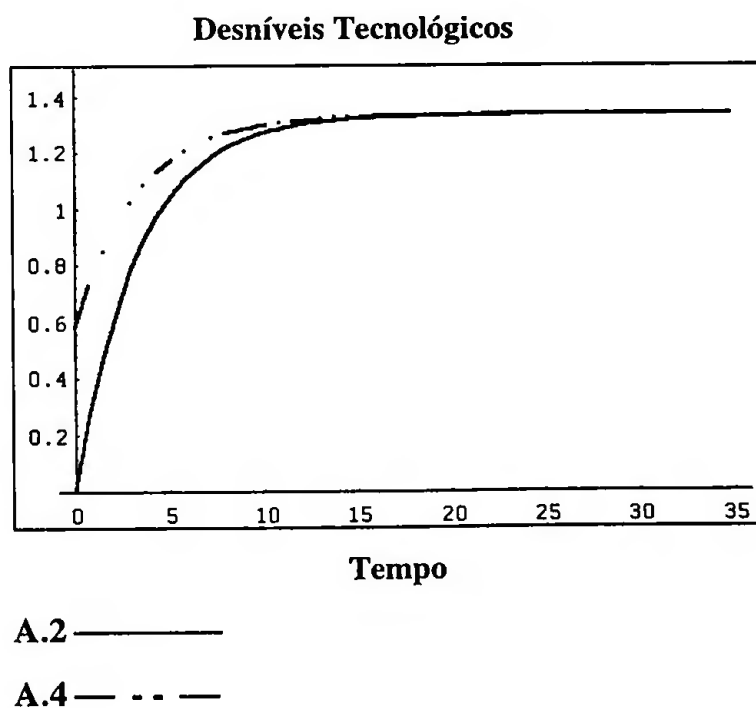


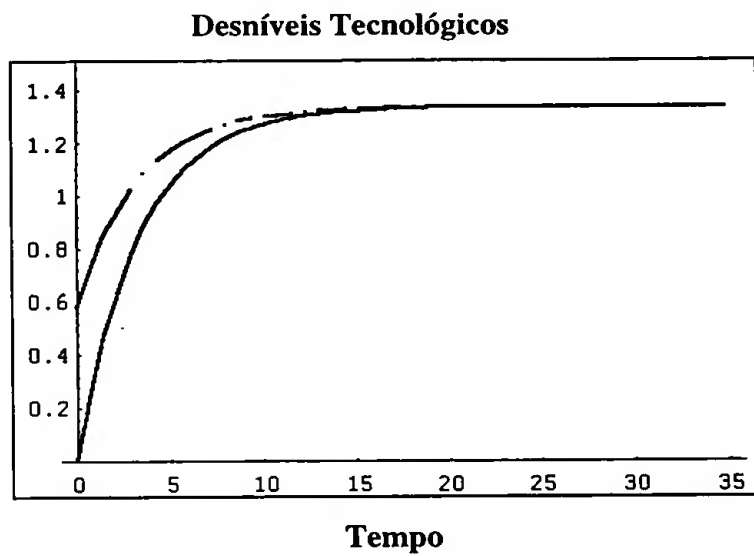
Este modelo, *líder-seguidor*, foi testado, pelos autores, na análise do desenvolvimento da tecnologia informática. Os países escolhidos foram: os *Estados Unidos - líder* e a então *União Soviética - seguidor*. Os resultados obtidos na concretização do modelo foram considerados pelos autores desta abordagem quantitativa do processo de transferência bastante satisfatórios. A medida escolhida para definir o parâmetro P foi o número de operações por segundo que o computador era capaz de realizar. Foi portanto superada a limitação imposta por Sharif e Haq - na concretização do modelo anterior na difusão da tecnologia informática - relativamente à definição do parâmetro utilizado para medir o nível tecnológico, quer do líder quer do seguidor.

Contudo Raz, Steinberg e Ruina ao testarem o modelo fundamentaram-se nos estudos efectuados por Goodman em 1979, (cf. [14]), e outros, os quais consideravam que o desenvolvimento tecnológico dos dois países nos anos 50, no campo da tecnologia informática era semelhante, o que equivale a dizer que o desnível inicial foi considerado nulo. Talvez por isso os resultados tenham sido tão satisfatórios.

### **Análise comparativa das situações criadas : $G_0 = 0$ e $G_0 \neq 0$**

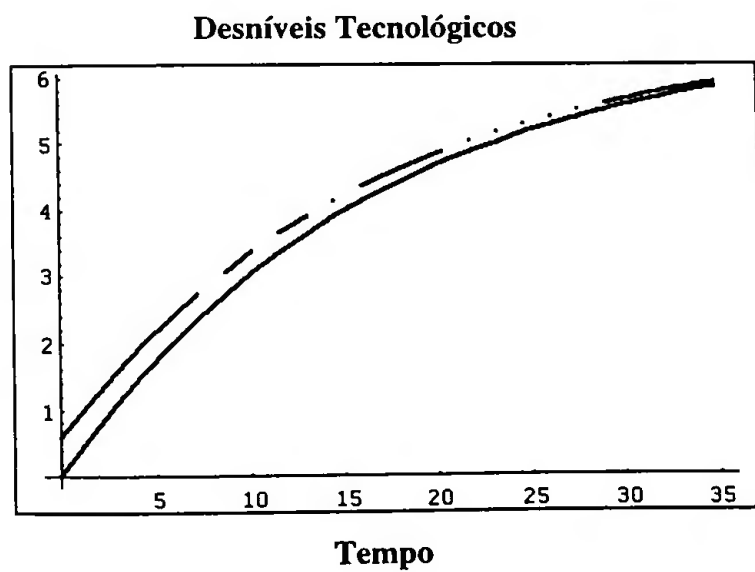
Tendo em vista a análise da influência do desnível tecnológico inicial entre o líder e o seguidor, no processo de transferência, foi feito um estudo comparativo a fim de tirar eventualmente algumas ilações. Para isso juntaram-se no mesmo sistema de eixos coordenados os gráficos que representavam as funções de desnível tecnológico, e que diferiam exclusivamente por se considerar ser, ou não, nulo o desnível inicial ser ou não nulo.

**GRÁFICO DAS SITUAÇÕES A.1 e A.3****GRÁFICO DAS SITUAÇÕES A.2 e A.4**

**GRÁFICO DAS SITUAÇÕES B.1 e B.3**

B.1 —————

B.3 — — — —

**GRÁFICO DAS SITUAÇÕES B.2 e B.4**

B.2 —————

B.4 — — — —

É visível o efeito de se aceitar que o desnível tecnológico inicial possa ser positivo, como comprovam os respectivos gráficos nas diferentes situações criadas. A verdade é que, se assim for, o desnível tecnológico permanecerá bastante mais elevado durante um período muito maior.

Neste contexto poder-se-á dizer que a aplicação deste modelo, funcionará efectivamente melhor quando o líder e o seguidor têm desenvolvimentos tecnológicos semelhantes, relativamente a uma dada tecnologia, no momento em que se inicia o processo de transferência. Este facto está longe da realidade, uma vez que são os países tecnologicamente menos desenvolvidos que têm maior interesse na importação de tecnologia.

Esta abordagem tem ainda assim, o mérito de descrever bem os comportamentos do líder e do seguidor, com desenvolvimentos tecnológicos iniciais iguais, durante a primeira fase da curva logística do desenvolvimento da tecnologia em causa.

## **2.4. Modelo de transferência "emparelhada" :**

### **Uma abordagem logística**

#### **2.4.1. Desenvolvimento conceptual do modelo**

A formulação deste modelo, apresentado por Raz e Assa (cf. [15]) em 1988, é baseada no conceito de que o desenvolvimento tecnológico de uma qualquer empresa ou de um qualquer país segue a curva logística de crescimento, quando relacionado com uma tecnologia específica.

É evidente que apesar disso existem desníveis tecnológicos entre as empresas ou os países, os quais são devidos à estratégia de progresso de uns (os líderes) e a eficiência estática de outros (os seguidores).

O modelo anterior tem, como se viu, algumas limitações na sua funcionalidade, tais como:

- *Não considera alteração na capacidade de aprendizagem* do seguidor, isto é,  $K_s$  é admitida ser constante. O desnível entre o líder e o seguidor poderá assim permanecer eventualmente constante;
- *Não pode manusear os casos* nos quais o *desnível é reduzido* ou até *invertido*, como acontece, por exemplo, em alguns situações de transferência de tecnologias de informática dos Estados Unidos para o Japão. Esta é, aliás, e em certa medida, uma consequência do ponto anterior;
- *Não considera limites* para os desenvolvimentos tecnológicos tanto do líder como do seguidor.

**Raz**, coautor do modelo anterior, consciente destas limitações, desenvolve juntamente com Assa este **novo modelo**, que visa sobretudo superar a última "fraqueza" daquele.

Como se viu, a solução da equação diferencial linear não homogénea (2.6) é uma função de crescimento exponencial. Tem-se observado, contudo, na prática que na maioria dos casos em que  $K_L > K_s$  e  $X_L^0 > X_s^0$ , o desnível entre o líder e o seguidor diminui no tempo e tende a atingir o seu limite assintótico. Por este facto, esta nova formulação do modelo "*perseguição tecnológica*" é baseada na seguinte suposição: *o desenvolvimento tecnológico* de uma empresa, ou de um país, segue uma curva de crescimento logística quando relacionado com *uma tecnologia específica*, isto é, *tem limite no seu desenvolvimento*.

Foi devido à introdução de hipóteses simplificadoras no modelo anterior da "*perseguição tecnológica*", que o modelo descreve só parcialmente a relação *líder - seguidor*, durante o processo de transferência. A *solução analítica* encontrada, só é válida para o período em que a perícia tecnológica do seguidor evolui exponencialmente, isto é, para a *1ª fase da curva logística*, pois que nessa

fase, como já foi dito, o desenvolvimento do líder é aproximadamente uma função linear do tempo.

### 2.4.2. Hipóteses e formulação do modelo

A hipótese de alteração proposta é:

- O *desenvolvimento tecnológico* do líder e do seguidor segue a *curva logística* de crescimento.

Esta abordagem através da curva logística impondo limites físicos ao desenvolvimento do líder e do seguidor, traduz uma situação que está de acordo com a observação empírica.

1. Para o *líder* a função logística considerada é

$$X_L(t) = \frac{U_L}{1+b_L e^{-K_L t}},$$

sendo  $U_L$  - limite superior do desenvolvimento tecnológico,

$b_L$  - condição inicial,

$X_L(0) = X_L^0$  quando  $t = 0$ .

Quando

$$U_L = 1$$

vem

$$X_L^0 = \frac{1}{1+b_L} \Rightarrow b_L = \frac{1-X_L^0}{X_L^0}.$$

2. Para o *seguidor* a função logística é semelhante

$$(2.8) \quad X_s(t) = \frac{U_s}{1 + b_s e^{-k_s t}},$$

sendo

$$X_s(0) = X_s^0 \text{ quando } t = 0.$$

Para

$$U_s = 1$$

vem

$$X_s^0 = \frac{1}{1 + b_s} \Rightarrow b_s = \frac{1 - X_s^0}{X_s^0}.$$

As funções  $X_L(t)$  e  $X_s(t)$  são funções duma variável que tanto pode ser a *perícia tecnológica*, ou *cota de mercado* da empresa, como qualquer outra medida relacionada com a tecnologia específica que permita avaliar o *desenvolvimento tecnológico no tempo*. A escolha da variável depende das aplicações do modelo.

Quando a transferência de tecnologia é iniciada, a função (2.8), torna-se inadequada para descrever a natureza dinâmica do fenómeno, uma vez que o comportamento do seguidor, por causa da influência directa da natureza "emparelhada" da transferência de tecnologia, altera o seu padrão de desenvolvimento. O termo "emparelhada" é aqui utilizado pelos autores do modelo para realçar que a transferência de tecnologia, não é um processo aleatório, mas um processo que depende da vontade do líder em transferir a tecnologia em causa.





A taxa de crescimento do seguidor não é portanto exclusivamente determinada pela taxa inata de aprendizagem  $K_s$ . Uma vez que foi assumida a forma logística para o desenvolvimento do seguidor, a taxa de crescimento será, agora,

$$(2.9) \quad g_s = \frac{d}{dt} \left( \frac{U_s}{1 + b_s e^{-K_s t}} \right) = b_s K_s e^{-K_s t} U_s (1 + b_s e^{-K_s t})^{-2}.$$

O modelo de transferência de tecnologia "*emparelhada*" é obtido substituindo (2.8) e (2.9) no modelo original "*perseguição tecnológica*", que era dado por (2.6).

Assim, fica

$$(2.10) \quad \frac{dX_s(t)}{dt} = g_s + K_T \left[ \frac{U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}} - X_s(t) \right].$$

Esta equação (2.10) mostra que a taxa de crescimento do desenvolvimento tecnológico do seguidor, quando a transferência de tecnologia "*emparelhada*" começa, é igual à sua taxa de crescimento anterior,  $g_s$ , aumentada de uma quantidade que é proporcional à taxa de transferência,  $K_T$ , e ao desnível tecnológico entre o líder e o seguidor. A equação diferencial (2.10), pode escrever-se da seguinte forma:

$$\frac{dX_s(t)}{dt} = b_s K_s e^{-K_s t} U_s (1 + b_s e^{-K_s t})^{-2} + K_T \left[ \frac{U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}} - X_s(t) \right],$$

ou,

$$(2.11) \quad \frac{dX_s(t)}{dt} + K_T X_s(t) = R(t),$$

sendo

$$(2.12) \quad R(t) = \frac{U_S K_S b_S}{(1 + b_S e^{-K_S t})^2 e^{K_S t}} + \frac{K_T U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}} \quad .$$

A equação (2.11) é, como se vê, uma equação diferencial linear não homogênea. Os parâmetros  $K_T$ ,  $K_L$  e  $K_S$  continuam nesta nova formulação a ser considerados constantes. As razões invocadas, pelos autores são:

1. A observação de casos reais tem demonstrado que *demora muito tempo* a verificar-se *alteração* nas taxas de desenvolvimento tecnológico de uma dada tecnologia - *parâmetros*  $K_L$  e  $K_S$  ;
2. O *intervalo de tempo*, segundo Caves (cf. [15]), entre o momento da transferência e o momento em que a *alteração nas taxas* de desenvolvimento tecnológico do seguidor e do líder é detectada, é bastante *considerável* ;
3. A experiência com o modelo anterior, tem mostrado que a hipótese de  $K_T$  ser considerada *constante*, é um *bom compromisso* com a observação empírica, mesmo em áreas de desenvolvimento galopante como é o caso da informática digital.

### 2.4.3. Aplicações: análise e discussão

O modelo foi aplicado pelos autores, a diferentes situações criadas através da variação dos respectivos parâmetros. O intervalo de variação da medida dos desenvolvimentos tecnológicos iniciais,  $X_L^0$  e  $X_S^0$  , foi entre 0 e 1, devido ao facto do limite superior das curvas logísticas do líder e do seguidor ter sido fixado em 1 para facilitar os cálculos.

O modelo foi aplicado no processo de transferência de tecnologia informática entre os Estados Unidos e a então União Soviética. Durante o processo de

verificação e de ajustamento do modelo, os autores do modelo verificaram existir uma certa inter-relação entre os parâmetros  $K_T$ ,  $K_L$ , e  $K_S$ .

Tendo em vista uma análise exaustiva do modelo pensou-se ser conveniente a elaboração de um programa (ver anexo) de resolução numérica da equação diferencial, cujos resultados podem ser observados nas figuras inseridas nas páginas seguintes.

Para fazer a leitura dos gráficos das situações simuladas deve atender-se às seguintes notações:

- **XS** : curva da solução do modelo para o seguidor.
- **XL** : curva logística do líder.
- **XD** : curva do desnível tecnológico.

Teoricamente podem ser consideradas três situações distintas num processo de transferência de tecnologia:

### 1ª situação

$$K_T = K_L$$

$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .2 \quad K_L = .6 \quad K_T = .6$$

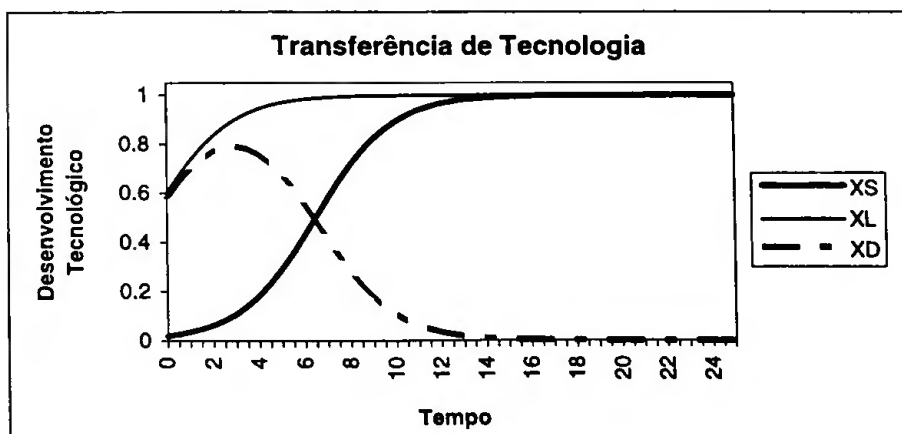


Figura 7

Nesta situação o seguidor desenvolve-se quase tão rapidamente quanto o líder. A transferência é feita quase sem perda ou retenção de qualquer conhecimento tecnológico significativo. Deste modo o desenvolvimento do seguidor após a transferência dependerá apenas:

- das suas *novas capacidades* de desenvolvimento ;
- da sua *posição* tecnológica na *curva logística* no momento da transferência ;
- da troca de experiência entre ele e o líder, aspecto que está substantiado no modelo através do *desnível tecnológico* - G.

## 2ª situação

$$K_T > K_L$$

$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .2 \quad K_L = .6 \quad K_T = .7$$

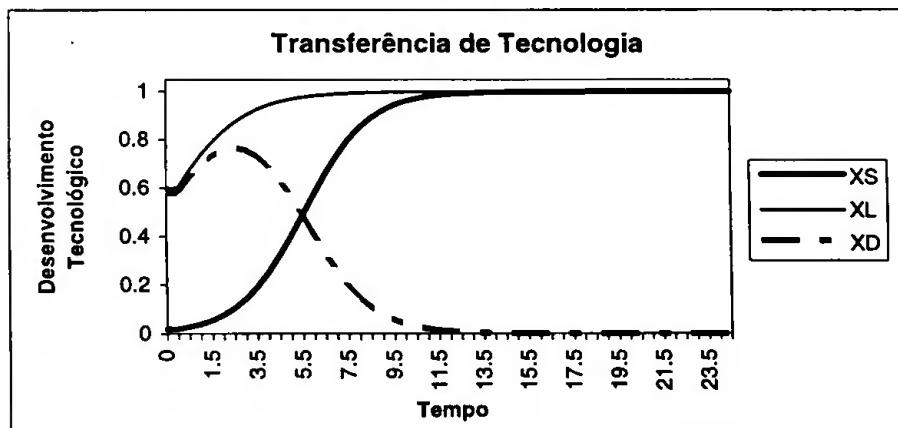


Figura 8

Este caso pode observado durante pequenos períodos de tempo, particularmente quando multinacionais investem no estrangeiro. A finalidade é estimular o desenvolvimento do seguidor durante a fase inicial da transferência.

### 3ª situação

$$K_T < K_L$$

Este é o caso mais geral e vai ser, conseqüentemente, mais explorado. Traduz o facto de que algum do conhecimento tecnológico, ou não é transferido ou provavelmente é perdido durante a transferência.

Pode constatar-se o efeito resultante do crescimento da taxa de transferência de tecnologia, mantendo constantes os outros parâmetros do modelo.

$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .2 \quad K_L = .6 \quad K_T = .06$$

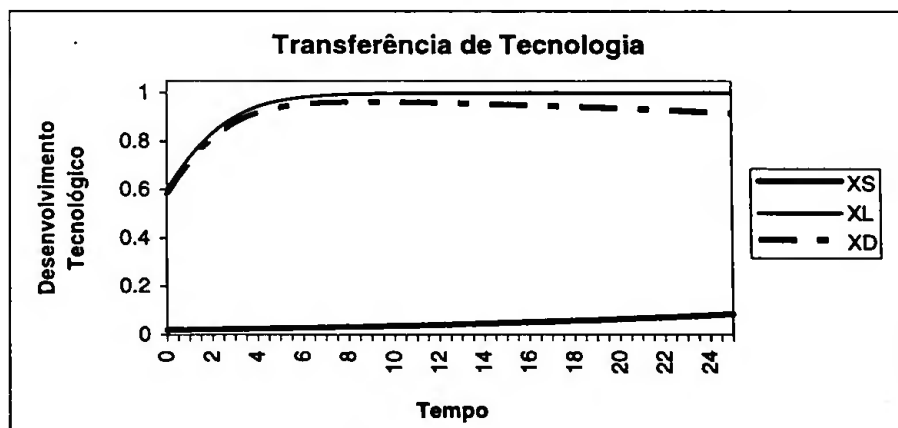


Figura 9

$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .2 \quad K_L = .6 \quad K_T = .1$$

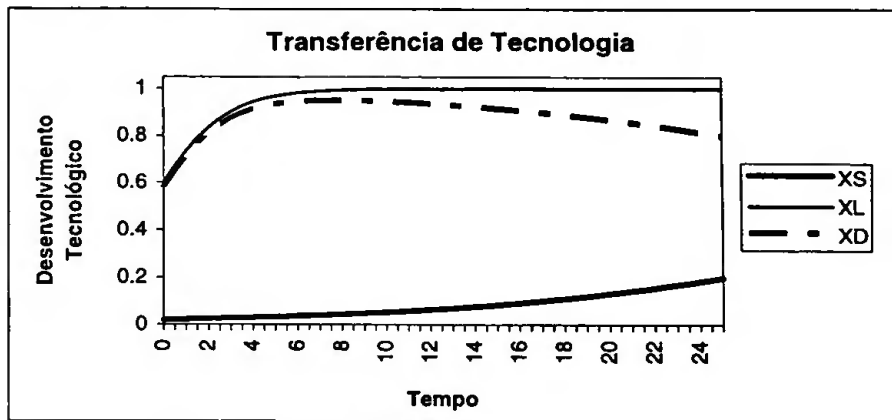


Figura 10

$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .2 \quad K_L = .6 \quad K_T = .3$$

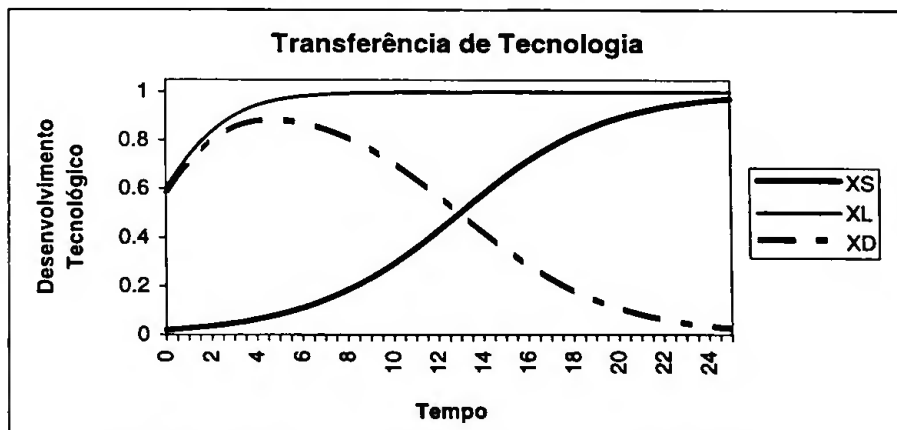


Figura 11

Observando a evolução dos desníveis tecnológicos relativamente ao rácio  $K_T / K_L$ , verifica-se que quando  $K_T / K_L$  muda de  $1/10$ , como na figura 9, para  $1/2$ ,

como na figura 11, o processo da "*perseguição tecnológica*" varia drasticamente. Nas situações representadas nas figuras 9 e 10, o seguidor mantém um grande desfasamento em relação ao líder durante todo o período em análise. Na situação representada na figura 11, o seguidor neutraliza o desnível existente, por volta de doze anos após a transferência, enquanto que nos outros dois casos a neutralização do desnível é muitíssimo lenta, quase insignificante. Deve notar-se que a solução do modelo só contempla o caso em que o desnível tecnológico é positivo.

É também importante analisar o efeito da hipótese do modelo, relativa a ser constante a taxa de transferência independentemente do desnível tecnológico e da sua relação com a taxa inata de aprendizagem do seguidor. Os autores do modelo afirmam ser óbvia a importância do valor decrescente de  $K_s$ , mantendo os outros parâmetros constantes, e concluem que:

- $K_s \approx K_T$  : quanto mais próxima a taxa de desenvolvimento do seguidor estiver da taxa de transferência, menor será o período de desfasamento entre os dois;
- $K_s \ll K_T$  : quando as respectivas taxas estiverem demasiado afastadas, a transferência, mesmo "*emparelhada*", resulta num longo período de *retardamento tecnológico*, relativamente ao líder .

Contudo após terem sido simuladas várias situações não foi detectada a inter-relação mencionada pelos autores. As figuras que se seguem são elucidativas.

$X_S^0=.02 \quad X_L^0=.6 \quad K_S=.25 \quad K_L=.6 \quad K_T=.3$

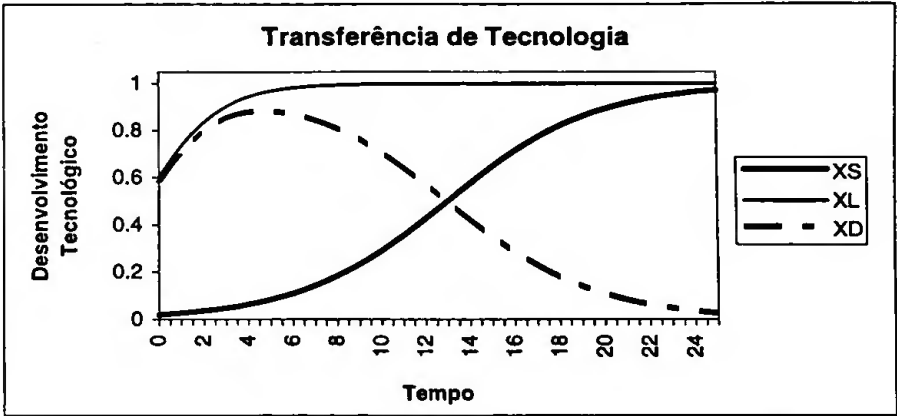


Figura 12

$X_S^0=.02 \quad X_L^0=.6 \quad K_S=.1 \quad K_L=.6 \quad K_T=.3$

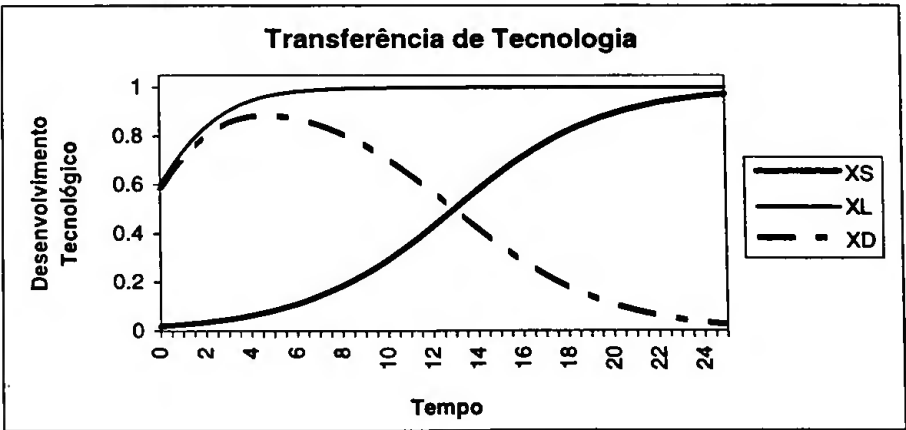


Figura 13



$$X_s^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_s = .01 \quad K_L = .6 \quad K_T = .3$$

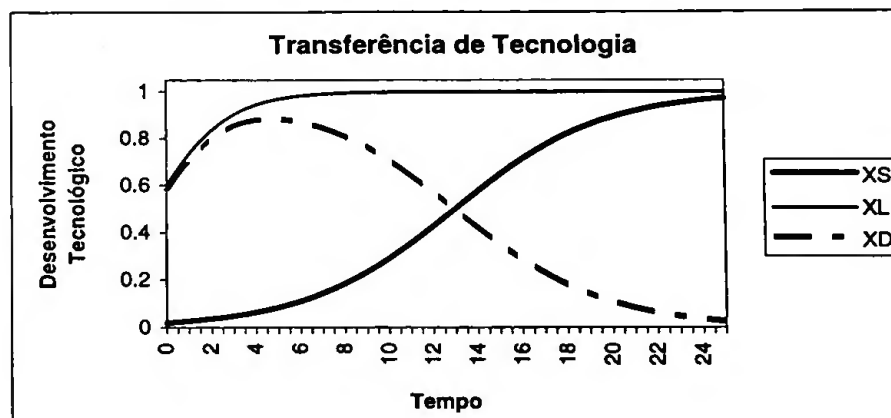


Figura 14

Estas últimas situações simuladas parecem ser surpreendentes explicar como. No entanto, deve notar-se que os autores do presente modelo apenas se propuseram superar uma das três limitações do modelo de 1983 que era não considerar limites ao desenvolvimento tecnológico quer do líder quer do seguidor. Sendo assim continua a não se ter em linha de conta a alteração na capacidade de absorção do seguidor,  $K_s$  que é admitida ser constante podendo o desnível tecnológico entre o líder e o seguidor permanecer inalterável.

Fazendo uma análise cuidadosa dos dados gerados através do programa (ver anexo) podem tirar-se as conclusões seguintes:

- o desnível tecnológico mantém-se invariável em relação ao valor crescente da taxa de aprendizagem do seguidor, considerando constantes os restantes parâmetros;
- o período de desfasamento tecnológico diminui com o aumento da taxa de transferência quando considerados constantes os outros parâmetros.

O modelo pode, contudo, ser usado como uma ferramenta de diagnóstico para calcular  $K_s$  através de ajustamentos dos processos dos desenvolvimentos tecnológicos das tecnologias individuais nos vários países. Também constitui uma ferramenta importante no processo de planeamento dos progressos futuros em tecnologias específicas. Para isto é necessário dispor de dados para os valores típicos de  $K_T$  e  $K_s$  verificados noutros casos.

## **2.5. Nova abordagem do modelo de transferência "emparelhada"**

Com vista a ultrapassar algumas das limitações da formulação do modelo anterior, foi apresentada por **Win G. Liu** em **1993** (cf. [9]) uma **nova abordagem**, na qual a capacidade de absorção do seguidor é explicitamente tomada em consideração. Assim, este **novo modelo quantitativo** para análise dos processos de transferência entre países, pode tratar casos nos quais se permite que o desvio tecnológico aumente, se mantenha constante, ou seja reduzido. Além disso, este contributo vem superar, como se verá, o uso das técnicas numéricas anteriormente utilizadas.

### 2.5.1. Formulação do modelo

Na concepção do modelo foram introduzidas as seguintes hipóteses de alteração relativamente ao modelo anterior:

1. O desenvolvimento tecnológico do líder é uma função aproximadamente linear do tempo. Vem, portanto,

$$(2.13) \quad X_L(t) = K_L t ,$$

onde

$X_L(t)$  é um índice do nível tecnológico do líder, e sendo  
 $K_L$  a taxa do crescimento tecnológico do líder.

A taxa de crescimento tecnológico do seguidor no momento  $t$ , resulta da taxa de transferência  $K_T(t)$ , variável, e do desnível tecnológico nesse momento  $t$ . Tem-se que

$$(2.14) \quad \frac{dX_S(t)}{dt} = K_T(t) [X_L(t) - X_S(t)] ,$$

onde

$$K_T(t) = K_S \frac{X_S(t)}{X_L(t)} ,$$

e sendo:

$K_S$  a taxa inata do crescimento tecnológico do seguidor;

$K_T(t)$  a função que reflecte as mudanças na capacidade de absorção do seguidor ao longo do tempo. Não é constante como foi considerada nos modelos anteriores.

A expressão utilizada para definir  $K_T(t)$ , é justificada por Win Liu, que a considera coerente com as observações empíricas. Com efeito:

- os países com *nível tecnológico muito baixo*, relativamente ao do líder - e no âmbito de uma dada tecnologia - *pouco absorvem* após ter isido iniciado o processo de transferência. Normalmente isto sucede por falta de capacidade técnica, o que está contemplado na fórmula, uma vez que quando  $X_S(t) \ll X_L(t)$  a transferência de tecnologia é pequena.
- os países com *desnível tecnológico pequeno*, relativamente ao líder, têm *capacidade de absorção mais elevada*, o que também se pode induzir da fórmula.

Atendendo às hipóteses anteriormente expostas, a equação diferencial que descreve o desenvolvimento tecnológico do seguidor é dada por

$$(2.15) \quad \frac{dX_S(t)}{dt} = K_S \frac{X_S(t)}{X_L(t)} [X_L(t) - X_S(t)].$$

Este modelo contempla assim as três situações do desenvolvimento tecnológico:

- *Fase inicial* da transferência de tecnologia.  
Nesta fase o valor do rácio  $\frac{X_S(t)}{X_L(t)}$  é pequeno, pois que o desenvolvimento do seguidor é lento relativamente ao do líder: a sua capacidade de absorção é demasiado limitada para permitir uma taxa elevada de aprendizagem, embora tenha mais recursos disponíveis;
- *Fase de aprendizagem*.  
Nesta fase o desenvolvimento do seguidor já é muito maior e dependerá dos seus recursos, do desnível entre ele e o líder, e da taxa de transferência de tecnologia;
- *Fase final* da transferência.



Nesta última fase o desnível tecnológico é reduzido ou fechado, a capacidade tecnológica do seguidor desenvolve-se e o papel da transferência de tecnologia deixa de ter significado.

### 2.5.2. Determinação da solução do modelo

Substituindo (2.13) em (2.15), obtém-se a equação seguinte

$$\frac{dX_s}{dt} - K_s X_s = -\frac{K_s}{K_L t} X_s^2.$$

Esta equação diferencial de 1ª ordem, não linear, é uma equação de Bernoulli, portanto linearizável, através duma mudança de variável. Atendendo a que

$$(2.16) \quad X_s^{-2} \frac{dX_s}{dt} - K_s X_s^{-1} = -\frac{K_s}{K_L t} \quad \text{e considerando } Y = X^{-1},$$

notando ainda que

$$\frac{dY}{dt} = -X_s^{-2} \frac{dX_s}{dt},$$

e substituindo em (2.16), obtém-se

$$\frac{dY}{dt} + K_s Y = \frac{K_s}{K_L t}, \quad \text{equação já linear na variável } Y.$$

A expressão geral da solução desta equação não homogênea de 1ª ordem é

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= e^{-K_S t} \left\{ C + \int \frac{K_S}{K_L t} e^{K_S t} dt \right\} \\
 &= e^{-K_S t} \left\{ C_1 + \frac{K_S}{K_L} \int \frac{1}{t} e^{K_S t} dt \right\} \\
 &= e^{-K_S t} \frac{K_S}{K_L} \left\{ C_1 \frac{K_L}{K_S} + \int \frac{1}{t} e^{K_S t} dt \right\},
 \end{aligned}$$

donde

$$(2.17) \quad Y(t) = e^{-K_S t} \frac{K_S}{K_L} \left( C + \int \frac{e^{K_S t}}{t} dt \right).$$

A constante de integração  $C$  é determinada pelo nível tecnológico inicial do seguidor.

### 2.5.3. Discussão do modelo

Para se proceder à discussão do modelo vai utilizar-se a função dos desníveis que se define

$$G(t) = X_L(t) - X_S(t),$$

e que permite analisar as várias situações teoricamente possíveis na transferência de tecnologia. Na verdade, para se examinarem as mudanças operadas no desnível tecnológico, depois de se ter efectuado a transferência de tecnologia, recorre-se à derivada da função  $G(t)$ , isto é, recorre-se a

$$\frac{dG(t)}{dt} = \frac{dX_L(t)}{dt} - \frac{dX_S(t)}{dt} = K_L - K_S X_S(t) \left( 1 - \frac{X_S(t)}{X_L(t)} \right).$$

Como se verá, há quatro situações possíveis no processo de transferência de tecnologia, dependendo do valor da derivada da função dos desníveis.

## 1ª Situação

Nesta situação vai considerar-se que a taxa inata de crescimento do seguidor é bastante inferior à taxa de crescimento tecnológico do líder ou seja,

$$K_s \ll K_L \Rightarrow \frac{dG(t)}{dt} > 0.$$

O parâmetro  $K_s$  é uma constante que traduz, de certo modo, a capacidade de absorção do seguidor. Admitindo que a capacidade de absorção do seguidor é demasiado baixa, o desenvolvimento tecnológico respectivo não é suficiente para "*perseguir*" o líder, tornando-se cada vez maior o desnível tecnológico entre eles existente. Nestas condições,

$$\frac{dG(t)}{dt} > 0 \Rightarrow G(t) \text{ é uma função crescente da variável } t \text{ (ver figura 15 caso a)}$$

## 2ª Situação

Considere-se agora uma outra situação em que as taxas do líder e do seguidor são semelhantes, isto é, em que

$$K_s \approx K_L .$$



Neste caso, como a taxa de desenvolvimento do líder e a capacidade de absorção do seguidor estão muito equilibradas, a função derivada que inicialmente tem valor positivo, após o processo de transferência "*emparelhada*", e à medida que  $X_s$  aumenta, pode tornar-se negativa, o que significa que o seguidor se torna cada vez mais capaz de absorver a tecnologia transferida. Quando isto acontece, o seu nível tecnológico cresce e o desnível tecnológico pode ser reduzido, situação que está representada na figura 15, (caso b).

### 3ª Situação

Teoricamente pode considerar-se também que a capacidade de absorção do seguidor é tão poderosa, que permite uma rápida redução do desnível tecnológico e uma eficaz "*perseguição*" do líder. Nestas condições,

$$K_s \gg K_L \Rightarrow \frac{dG(t)}{dt} < 0 \text{ (ver figura 15 caso c).}$$

### 4ª Situação

Por último pode considerar-se uma situação (ver figura 15 caso d) em que o seguidor tecnológico tem uma capacidade de absorção tão forte que não só "*persegue*" o líder como o ultrapassa, tornando-se um novo líder. Esta situação não está contemplada no modelo.

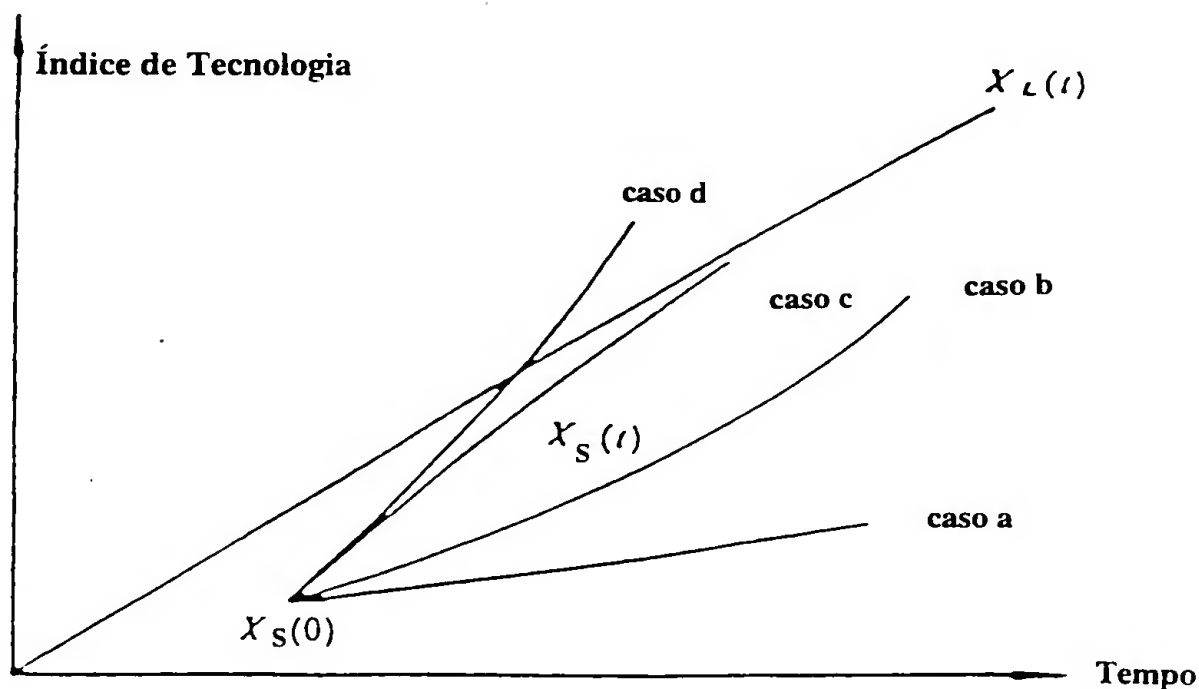


Fig. 15. Situações do seguidor relativamente ao líder

#### 2.5.4. Aplicação do modelo

Para mostrar a eficácia da abordagem desenvolvida, Win aplicou o modelo na análise do desenvolvimento tecnológico dos motores de turbina das aeronaves, na República Popular da China. Foram testados os desníveis tecnológicos da China, relativamente aos Estados Unidos, e as previsões quantitativas feitas através do modelo mostraram que os resultados obtidos eram muito satisfatórios.

Uma das virtudes deste modelo é definir como variável o parâmetro de transferência ao longo do processo de transferência tecnológica, apresentando portanto uma melhoria relativamente ao modelo anterior. Este facto é perfeitamente aceitável, e até talvez mais próximo da realidade, uma vez que a

capacidade de absorção não se mantém constante ao longo do processo de transferência, já que o seguidor vai aumentando o seu nível tecnológico. O principal problema é que se vai, contudo, obter para a equação do modelo, uma equação diferencial de 1ª ordem não linear, cuja solução é determinada através da primitivação duma série de Mac-Laurin, que pode não ser particularmente eficiente. Uma outra limitação é que este modelo apenas descreve o comportamento do líder e do seguidor *durante a primeira* fase da curva logística do desenvolvimento da tecnologia em causa. Representa, por essa razão, um retrocesso quando comparado com o modelo anterior de Raz e Assa, relativamente ao qual se apresenta menos vantajoso.

## **2.6. Proposta de um “novo” modelo de transferência de tecnologia: Abordagem logística com taxa de transferência variável**

### **2.6.1. Desenvolvimento conceptual do modelo**

À medida que os modelos foram sendo apresentados, foram igualmente sendo referidas algumas das limitações, mais ou menos evidentes, neles contidas. O desejo de dar um contributo no sentido de superar, de alguma forma tais limitações, conduziu à concepção de um “novo” modelo, em que, simultaneamente se incluem a abordagem logística e uma taxa de transferência variável. Torna-se, assim, possível, por um lado, averiguar e esclarecer o comportamento do modelo de Raz e Assa apresentado em 1988, nas situações em que o desnível entre o líder e o seguidor se mantém constante a despeito do crescimento da taxa de aprendizagem do seguidor; por outro lado, confirmar, ou

não, a teoria de Win no modelo apresentado em 1993 ; finalmente contornar as três limitações do modelo de Raz, Steinberg e Ruina apresentado em 1983.

### 2.6.2. Hipóteses do modelo

O modelo proposto é baseado nas seguintes hipóteses:

- O *desenvolvimento tecnológico* do líder e do seguidor segue a *curva logística* de crescimento.
- A taxa de crescimento tecnológico do seguidor no momento  $t$ , resulta da taxa de transferência  $K_T(t)$ , que agora passa a ser também considerada variável, e do desnível tecnológico do seguidor relativamente ao líder.

1. Para o *líder* , a curva logística do desenvolvimento tecnológico é dada pela seguinte função,

$$X_L(t) = \frac{U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}} ,$$

sendo

$U_L$  - limite superior do desenvolvimento tecnológico,

$b_L$  - condição inicial,

$X_L(0) = X_L^0$  para  $t = 0$ .

Para

$$U_L = 1, \text{ tem-se } X_L^0 = \frac{1}{1 + b_L} \Rightarrow b_L = \frac{1 - X_L^0}{X_L^0} .$$

2. Para o *seguidor* , a função que dá a medida do desenvolvimento tecnológico é semelhante, isto é , tem-se que

$$X_S(t) = \frac{U_S}{1 + b_S e^{-K_S t}} ,$$

sendo

$$X_s(0) = X_s^0 \text{ para } t = 0 .$$

Para

$$U_s = 1, \text{ tem-se } X_s^0 = \frac{1}{1+b_s} \Rightarrow b_s = \frac{1-X_s^0}{X_s^0} .$$

A taxa de crescimento tecnológico do seguidor, antes de se iniciar o processo de transferência, é

$$g_s = \frac{d}{dt} \left( \frac{U_s}{1+b_s e^{-K_s t}} \right) = b_s K_s e^{-K_s t} U_s (1+b_s e^{-K_s t})^{-2} .$$

Quando se inicia o processo de transferência a taxa de crescimento tecnológico do seguidor passará a ser

$$\frac{dX_s}{dt} = g_s + f_1(X_s) f_2(X_L, X_s) ,$$

onde

$f_1(X_s) f_2(X_L, X_s)$  exprime a contribuição da transferência da tecnologia.

Considera-se que a forma mais simples para as duas funções é

$$f_1(X_s) = \begin{cases} 0 & : X_s \text{ é pequeno} \\ K_T & : X_s \text{ atinge um determinado limiar} \end{cases}$$

e

$$f_2(X_L, X_s) = (X_L - X_s) .$$

Então, a taxa de crescimento tecnológico do seguidor após ter sido efectuado a transferência será



$$(2.17) \quad \frac{dX_s(t)}{dt} = b_s K_s e^{-K_s t} U_s (1 + b_s e^{-K_s t})^{-2} + K_T \left[ \frac{U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}} - X_s(t) \right].$$

Atendendo a que

$$K_T = K_s \frac{X_s(t)}{X_L(t)}$$

e substituindo em (2.17) obtém-se

$$\frac{dX_s(t)}{dt} = b_s K_s e^{-K_s t} U_s (1 + b_s e^{-K_s t})^{-2} + K_s \frac{X_s(t)}{X_L(t)} \left[ \frac{U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}} - X_s(t) \right].$$

Como

$$X_L(t) = \frac{U_L}{1 + b_L e^{-K_L t}},$$

resulta

$$(2.18) \quad \frac{dX_s(t)}{dt} = K_s X_s(t) - K_s R_1(t) X_s^2(t) + R_2(t),$$

sendo

$$R_1(t) = \frac{1 + b_L e^{-K_L t}}{U_L} = \frac{1}{X_L(t)}$$

e

$$R_2(t) = b_s K_s e^{-K_s t} U_s (1 + b_s e^{-K_s t})^{-2}.$$

A equação diferencial (2.18) pode reescrever-se duma outra forma mais sugestiva, como se pode ver

$$(2.19) \quad \frac{dX_s(t)}{dt} = (K_s - K_T) X_s(t) + R_2(t).$$

Este modelo dá em cada momento  $t$ , o desenvolvimento tecnológico dum seguidor num processo de transferência emparelhada onde a taxa de transferência depende não só da taxa inata de aprendizagem desse seguidor, mas também do desenvolvimento tecnológico relativo do seguidor, quando comparado com o desenvolvimento do líder donde essa tecnologia é transferida.

### 2.6.3. Aplicações: análise do modelo

O critério escolhido para o teste da eficácia do modelo proposto foi averiguar como se comportaria relativamente às situações em que a taxa de aprendizagem do seguidor tem valor decrescente, mantendo-se todos os outros parâmetros inalteráveis. Por outras palavras, procurou analisar-se a veracidade das afirmações, de Raz e Assa (cf. [15]) no modelo apresentado em 1988, e que parecem óbvias, mas que não foram confirmadas no modelo. Essas conclusões são:

- $K_S \approx K_T$  : quanto mais próxima a taxa de desenvolvimento do seguidor estiver da taxa de transferência, menor será o período de desfasamento entre os dois;
- $K_S \ll K_T$  : quando as respectivas taxas estiverem demasiado afastadas, a transferência, mesmo "emparelhada", resulta num longo período de *atraso tecnológico*, relativamente ao líder.



$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .25 \quad K_L = .6$$

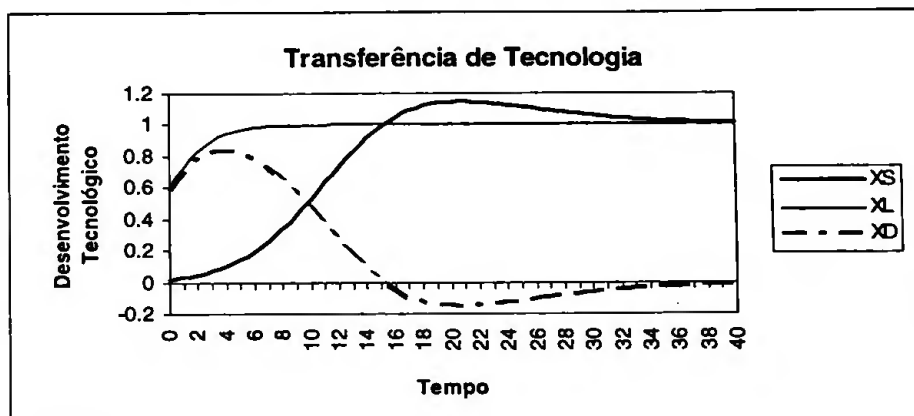


Figura 16

$$X_S^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_S = .1 \quad K_L = .6$$

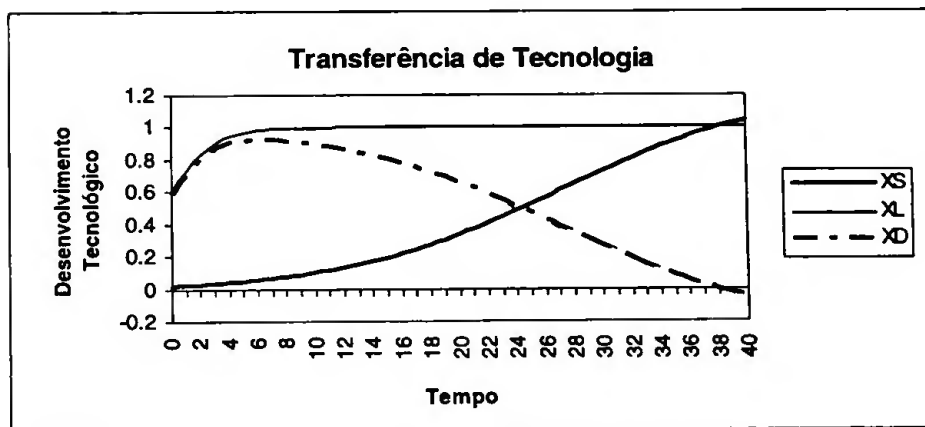


Figura 17

$$X_s^0 = .02 \quad X_L^0 = .6 \quad K_s = .01 \quad K_L = .6$$

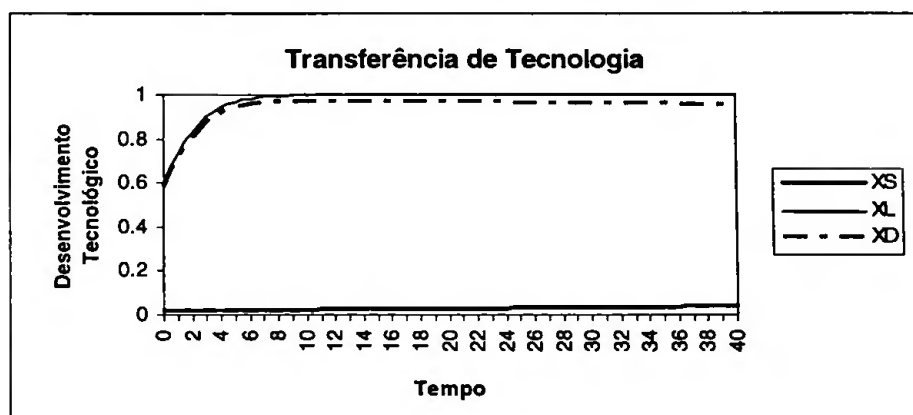


Figura 18

As figuras que representam as diferentes situações simuladas confirmam plenamente não só as afirmações de **Raz e Assa** como as de **Win**, quer dizer, é o facto de se considerar que a taxa de transferência varia de acordo com a capacidade de absorção do seguidor que permite, efectivamente, mostrar que aquelas conclusões são verdadeiras.

É evidente que é apenas uma proposta teórica mas que poderá ser explorada e concretizada num trabalho futuro.

### **3. MODELOS QUANTITATIVOS DE SUBSTITUIÇÃO DE TECNOLOGIA**

#### **3.1. Introdução**

O problema mais premente que a transferência de tecnologia suscita nos nossos dias é a concepção de uma abordagem que dê respostas às duas perguntas fundamentais:

- é mais vantajoso ser líder ou ser seguidor?
- no caso de se ter optado por ser seguidor, qual o caminho a seguir de modo a obter o máximo de competitividade tecnológica?

É notório que o sucesso da estratégia escolhida por uma empresa depende do comportamento das outras empresas no mercado. Acontece, e muito frequentemente, que a vantagem resultante de ser líder tecnológico, numa dada tecnologia, é rapidamente perdida devido à existência de alguns seguidores engenhosos e poderosos, com outras potencialidades para além das tecnológicas.

Como é natural, a actividade inovadora do líder pode desencadear uma reacção de imitação por parte do seguidor, pois que o processo de imitação é uma consequência lógica, e até necessária, num mercado de competição económica. No caso desse processo de imitação ser bem sucedido, o que muitos seguidores conseguem eficazmente, as suas despesas na adaptação da inovação, são ínfimas quando comparadas com as despesas do líder em actividades de I&D. Contudo, o dinamismo tecnológico que se desenvolve nos países ou nas regiões onde aparecem os imitadores conduz ao aparecimento de inovações incrementais aumentando assim a capacidade inovadora nesses países ou nessas regiões.

Um exemplo, bem sucedido, do processo de imitação é a estratégia dos empresários japoneses, “*a maior pechincha na história dos negócios*”, que utilizam as inovações dos países tecnologicamente desenvolvidos com engenho e rapidez. Quando isto acontece o líder deixa de conseguir compensar os gastos em programas de I&D, uma vez que perde o monopólio do mercado.

Ao longo dos anos, alguns modelos matemáticos têm sido propostos para representar o padrão temporal do processo de substituição, isto é, o processo através do qual a adopção de um novo produto ou de uma nova tecnologia se difunde e cresce para substituir um produto ou uma tecnologia existente.

Como se sabe, a difusão de uma inovação depende de várias condicionantes como, por exemplo, a natureza da inovação, os canais de comunicação, os atributos do sistema social, o local onde a inovação teve origem, a comunicação interpessoal, etc.

Neste trabalho vão ser apresentados dois tipos de modelos de substituição tecnológica:

- modelos de substituição que contemplam apenas a variável tempo;

- modelos de substituição que consideram na adopção da inovação simultaneamente o tempo e o espaço geográfico.

### **3.2. Casos particulares do modelo de avaliação dos potenciais tecnológicos de um país**

A maior parte dos contributos recentes para a descrição dos processos de difusão da inovação apresentam duas características essenciais: são modelos matemáticos e concentram a sua atenção no chamado coeficiente de difusão, geralmente representado pela letra  $b$ .

Pioneiros no desenvolvimento destes modelos matemáticos para previsão de substituição tecnológica foram, por exemplo, os economistas Griliches e Mansfield. O trabalho de Mansfield (cf. [12]), representa ainda hoje uma das maiores contribuições no esclarecimento dos factores que determinam a taxa de substituição tecnológica. Mansfield construiu um modelo determinístico para explicar os resultados históricos e analisar os factores que influenciavam algumas empresas a adoptar rapidamente algumas das inovações (e outras não), num conjunto de doze inovações importantes, em quatro sectores da indústria. O modelo foi construído, em grande parte, tendo por base a hipótese de que a probabilidade de uma empresa introduzir uma nova técnica é:

- função crescente do número de empresas que já a utilizavam e da rentabilidade da respectiva inovação ;
- função decrescente do montante do investimento necessário à sua implantação e do grau de incerteza associado à inovação.

O modelo de difusão de Mansfield tem sido ponto de referência para inúmeros investigadores. Randles (cf. [13]), por exemplo, utilizou-o com sucesso no

estudo da difusão dos terminais de computador tomando como ponto de partida a taxa de aceitação da inovação, ou seja, considerando que

$$\frac{dM(t)}{dt} = \lambda[N - M(t)] ,$$

representando

$M(t)$  : o nº de utilizadores da inovação no momento  $t$ ;

$N$  : o nº total da população em estudo;

$\lambda$  : coeficiente de aceitação da inovação;

com

$$\lambda = \phi \frac{M(t)}{N} ,$$

em que

$\phi$  : é a constante ligada à rentabilidade e ao investimento da inovação.

Em geral, os modelos matemáticos que têm sido propostos para representar o padrão temporal do processo de substituição de uma tecnologia são descritos pela equação diferencial

$$(3.1) \quad \frac{df(t)}{dt} = bf(t) (F - f(t)) ,$$

onde

$f(t)$  representa a totalidade dos que já adoptaram a inovação no momento  $t$ ,  
por exemplo, a quota do mercado de um produto no momento  $t$ ;

$F$  representa o limite superior da quota do mercado;

- b representa o coeficiente da influência interna ou coeficiente de imitação, ou de aceitação da inovação.

Os modelos de Blackman, assim como o de Fisher e Pry, são solução desta equação (3.1). Quer o modelo de Blackman quer o de Fisher e Pry consideram que o coeficiente de imitação é invariável com o tempo. As equações destes modelos são, respectivamente:

### Modelo de Blackman

$$\ln \frac{f(t)}{F - f(t)} = c_0 + bF t,$$

ou

$$\ln \frac{f(t)}{F - f(t)} = c_0 + ct.$$

### Modelo de Fisher-Pry

$$\ln \frac{f(t)}{1 - f(t)} = c_1 + bt, \text{ sendo } F = 1.$$

Depois desta apresentação breve, ver-se-á que estes modelos poderão ser obtidos como casos particulares do modelo de transferência de tecnologia, tratado na secção 2.2. Como se viu, a equação do modelo que permite determinar os potenciais tecnológicos de transferência é

$$f(D, t) = \frac{F_{M\Delta X} e^{-D}}{1 + \frac{F_{M\Delta X} e^{-D} - f(D, t_0)}{f(D, t_0)} e^{-F_{M\Delta X} A e^{-2D} (t - t_0)}}.$$

Considerando  $D = 0$ , isto é, sendo o país fornecedor - a origem da difusão da inovação - obtêm-se deste modelo de transferência de tecnologia, alguns modelos temporais de substituição tecnológica. Assim, considerando  $D = 0$  a equação anterior vem

$$(3.2) \quad f(t) = \frac{F_{MAX}}{1 + \frac{F_{MAX} - f(t_0)}{f(t_0)} e^{-F_{MAX} A(t-t_0)}}$$

e desta função da variável tempo resultam os modelos de Mansfield, de Blackman e de Fisher-Pry.

## 1. Modelo de Mansfield

Considerando as hipóteses:

$$F_{MAX} = 1$$

e

$$f(t) = f(t_0) \quad \text{para } t = 0,$$

obtém-se da equação (2.6)

$$\ln \left[ \frac{f(t)}{1 - f(t)} \right] = c_1 + c_2 t,$$

sendo

$$c_1 = \ln \left[ \frac{f(t_0)}{1 - f(t_0)} \right] - A t_0$$

e

$$c_2 = A.$$



Daqui resulta

$$\ln \left[ \frac{f(t)}{1-f(t)} \right] = c_1 + A(t - t_0).$$

## 2. Modelo de Blackman

A partir da expressão (2.3) pode deduzir-se (ver página 26) que

$$\frac{f(t)}{F_{\text{MAX}} - f(t)} = \frac{f(t_0)}{F_{\text{MAX}} - f(t_0)} e^{AF_{\text{MAX}}(t-t_0)}.$$

Logaritmizando ambos os membros da igualdade obtém-se

$$(3.3) \quad \ln \left[ \frac{f(t)}{F_{\text{MAX}} - f(t)} \right] = \ln \left[ \frac{f(t_0)}{F_{\text{MAX}} - f(t_0)} \right] + AF_{\text{MAX}}(t - t_0),$$

ou

$$\ln \left[ \frac{f(t)}{F_{\text{MAX}} - f(t)} \right] = c_1 + c_2 t,$$

sendo

$$c_1 = \ln \left[ \frac{f(t_0)}{F_{\text{MAX}} - f(t_0)} \right] + AF_{\text{MAX}} t_0$$

e

$$c_2 = AF_{\text{MAX}}.$$

### 3. Modelo de Fisher-Pry

As hipóteses do modelo são:

$$F_{MAX} = 1$$

$$f(t_0) = 1/2, \text{ para } t=t_0$$

e

$$A = 2\alpha, \text{ sendo } \alpha \text{ a taxa de substituição.}$$

Substituindo em (3.3) obtém-se

$$\ln \left[ \frac{f(t)}{1-f(t)} \right] = 2\alpha(t - t_0)$$

ou

$$\ln \left[ \frac{f(t)}{1-f(t)} \right] = c_0 + 2\alpha t.$$

### 3.3. Modelo de substituição tecnológica com as dimensões de tempo e espaço

#### 3.3.1. Desenvolvimento conceptual do modelo

Apesar da difusão de uma inovação ocorrer no tempo e no espaço, simultaneamente, esta *dimensão* espaço raramente tem sido considerada no fenómeno da difusão espacial. O modelo de Mahajan e Peterson (cf. [10]), que vai ser apresentado, é uma extensão do modelo de Mansfield-Blackman, e

representa uma tentativa para realçar no processo da difusão a perspectiva conjunta de tempo e espaço.

Como a maior parte dos modelos de substituição tecnológica, o modelo de Mansfield-Blackman resulta do modelo fundamental (influência mista) da difusão de uma inovação, ou seja

$$(3.5) \quad \frac{dF(t)}{dt} = (a + bF(t))(\bar{F} - F(t)),$$

onde

$a$  e  $b$  são constantes,

$\bar{F}$  é o limite superior da quota do mercado da inovação, e

$F(t = t_0) = F_0$ .

A solução deste modelo fundamental é dada por

$$(3.6) \quad F(t) = \frac{\bar{F} - \frac{a(\bar{F} - F_0)}{(a + b\bar{F})} e^{-(a+b\bar{F})(t-t_0)}}{1 + \frac{b(\bar{F} - F_0)}{(a + b\bar{F})} e^{-(a+b\bar{F})(t-t_0)}}.$$

A representação gráfica desta função é uma curva logística generalizada, cuja forma é determinada pelo valor dos parâmetros  $a$  e  $b$ , os quais têm sido interpretados, respectivamente, como coeficiente de inovação e coeficiente de imitação.

O modelo de Mansfield-Blackman pode obter-se da equação (3.6), fazendo  $a=0$  (modelo de pura imitação), cuja solução é portanto

$$(3.7) \quad F(t) = \frac{\bar{F}}{1 + \frac{(\bar{F} - F_0)}{F_0} e^{-b\bar{F}(t-t_0)}} .$$

Outros modelos foram obtidos deste modelo fundamental, como por exemplo o modelo de Bass, que contempla simultaneamente as forças de imitação e inovação que operam no mercado. Contudo Blackman salientou que embora estes dois tipos de modelos possam produzir teoricamente resultados diferentes, nos mercados onde a imitação e a inovação têm igual força o efeito da imitação tem predominado.

A abordagem apresentada por Mahajan e Peterson consistiu em modelizar a substituição de uma inovação ao longo do tempo, simultaneamente através de *r* regiões do mercado. O desenvolvimento conceptual do modelo considera implicitamente que são verificadas duas regularidades empíricas no processo de difusão espacial:

- a *substituição tecnológica* em cada região do mercado, pode ser descrita através duma *curva em forma de S*;
- a inovação é introduzida em primeiro lugar nas regiões do mercado onde as inovações são mais rentáveis, resultando por isso *diferentes taxas de adopção para as várias regiões do mercado*.

Para introduzir a dimensão espaço no modelo de Mansfiel-Blackman, foram admitidos os seguintes pressupostos:

- numa área constituída por *r* regiões, a substituição espacial de uma inovação, faz-se a partir de uma região do mercado que é denominada de *região da inovação* ;
- a *taxa de substituição* através das outras (r-1) regiões do mercado, *decrece com a distância* relativamente à *região da inovação*.

O efeito das hipóteses introduzidas pode ser observado na figura 1, que representa as curvas de substituição das regiões do mercado em diferentes momentos e a diferentes distâncias da *região da inovação*. Conclui-se que o limite superior da cota do mercado para cada região decresce com a distância à região da inovação.

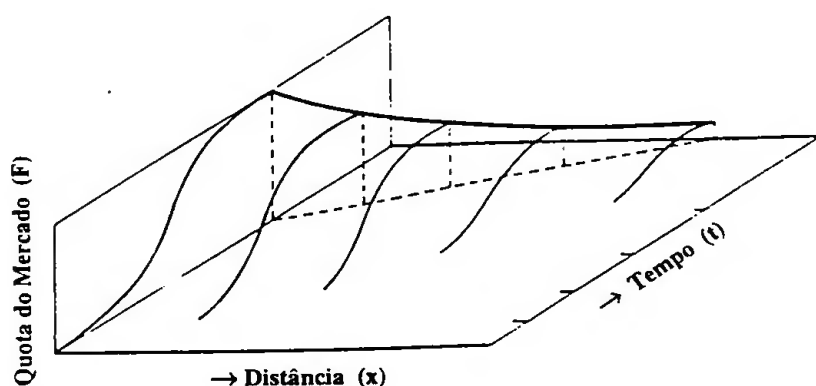


Fig.1. Padrões de substituição em diferentes momentos e a diferentes distâncias da região da inovação.

Considere-se então que o limite superior da cota do mercado em cada região, é apenas função da variável  $x$ , que representa a *distância de uma dada região à região onde teve origem a inovação*. Resulta então que:

$$\frac{d\bar{F}(x)}{dx} = -k_1 x ,$$

donde

$$(3.8) \quad \bar{F}(x) = -k_1 \frac{x^2}{2} + k_0 ,$$

sendo

$$k_0 = \bar{F}(x=0);$$

$k_0$  o limite superior da região da inovação,

$k_0$  e  $k_1$  constantes.

Vai admitir-se que a constante  $b$ , da equação (3.5), (com  $a=0$ ), se mantém inalterável para todos os valores de  $x$ , isto é, todas as região do mercado, têm o mesmo coeficiente de imitação. Introduzindo a variável  $x$  obtém-se

$$(3.9) \quad \frac{\partial F(x,t)}{\partial t} = bF(x,t) \left( \bar{F}(x) - F(x,t) \right),$$

representando

$F(x, t_0) = F_0(x)$  a quota de uma região do mercado que está à distância,  $x$ , da região inovadora, no momento  $t$ ,

$$\frac{\partial F(0,t)}{\partial x} = 0 \quad \text{a condição de fronteira}.$$

A solução da equação é

$$(3.10) \quad F(x,t) = \frac{k_0 - k_1 \frac{x^2}{2}}{1 + \frac{(k_0 - k_1 \frac{x^2}{2}) - F_0(x)}{F_0(x)} e^{-b(k_0 - k_1 \frac{x^2}{2})(t-t_0)}}.$$

Os parâmetros deste modelo de substituição com dimensões de tempo e espaço foram estimados utilizando o processo sugerido por Bass e a que Mahajan e Peterson (cf. [11]) fazem referência.

### 3.3.2. Ilustração do modelo: análise e discussão

Para ilustrar e testar a consistência do seu modelo, Mahajan e Peterson utilizaram uma amostra histórica sobre a adoção de tractores numa região de produção agrícola, nos Estados Unidos, constituída por 25 estados, durante o período 1920-1964. A região centro do Dakota Norte foi considerada como a *região da inovação* na adoção de tractores .

A primeira fase deste trabalho consistiu na elaboração duma tabela das distância entre o centro geográfico da região da inovação,  $x_0$ , e os centros geográficos dos diferentes estados,  $x_r$ . A amostra relativa ao ano de 1920 foi usada como valor da condição inicial, isto é,  $F_0(x)$ . Para todo o período do processo de adoção a correlação entre os valores previstos, dados pela equação (3.10), e os valores da amostra foram muito satisfatórios.

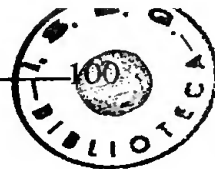
Este modelo de substituição apresenta vantagens relativamente aos modelos temporais de substituição. O facto de especificar o limite superior da cota do mercado da inovação numa dada região, como função da distância à região da inovação, permite não só fazer predições temporais, mas também calcular a cota máxima prevista para essa região do mercado da inovação.

Esta abordagem tem supremacia sobre os modelos temporais pois permite, por exemplo, a uma agência de difusão de uma inovação, comparar as taxas de adoção nas diferentes regiões do mercado da inovação e estabelecer estratégias apropriadas. Se bem que fosse possível através dos modelos temporais de substituição estimar as adopções nas múltiplas regiões, seria necessário desenvolver numerosos modelos de difusão independentes, um para cada região, ignorando as interacções regionais.

É verdade que a distância só por si pode não ser o factor determinante para a substituição da tecnologia através das diferentes regiões do mercado em virtude dos poderosos meios de comunicação existentes. Contudo no modelo aqui desenvolvido a distância representa apenas um substituto da medida da rentabilidade da inovação nas diferentes regiões que constituem o mercado da inovação.

Neste modelo não estão contempladas as situações em que a substituição provém de mais do que uma região. Além disso apresenta outras limitações como: ignora o efeito de hierarquia da difusão, que é muito importante para certos tipos de difusão; apenas considera o efeito de vizinhança; admite que o coeficiente de imitação,  $b$ , se mantém constante qualquer que seja a distância à região da inovação, o que parece pouco razoável. Contudo esta hipótese provou ser válida neste caso concreto de adopção de tractores. Apesar de algumas limitações este modelo apresenta vantagens relativamente aos modelos temporais de substituição de tecnologia no que diz respeito á melhor compreensão e previsão dos processos de substituição tecnológica.





#### 4. CONCLUSÕES

Para terminar, e porque praticamente já tudo foi dito, realçarei apenas que o estudo sobre transferência e substituição de tecnologia se revelou interessante e que a partir dele haverá uma fonte inesgotável para outros estudos e outras aplicações.

Relativamente aos modelos apresentados, quer de transferência quer de substituição de tecnologia, foi sendo feita uma apreciação evidenciando as virtudes de cada um deles e também algumas das suas “fraquezas” .

O “novo” modelo que é proposto, baseado nos modelos existentes, e em que se procura conjugar a abordagem logística com a alteração da capacidade de absorção do seguidor, durante o processo de transferência, representa uma contribuição que poderá abrir perspectivas a outras abordagens futuras, designadamente a aplicações concretas dos resultados teóricos obtidos.

Seria certamente um trabalho motivador.

# **ANEXO**

Programa e ficheiros de dados

Dados relativos à figura 7

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.98032	0.99973	0.01941
0.5	0.02681	0.6694	0.64259	13.5	0.98534	0.9998	0.01445
1	0.03585	0.73213	0.69628	14	0.9891	0.99985	0.01075
1.5	0.0478	0.78675	0.73896	14.5	0.9919	0.99989	0.00799
2	0.06346	0.83278	0.76932	15	0.99399	0.99992	0.00593
2.5	0.0838	0.87051	0.78671	15.5	0.99554	0.99994	0.0044
3	0.10989	0.90074	0.79084	16	0.99669	0.99995	0.00326
3.5	0.14285	0.92452	0.78167	16.5	0.99755	0.99997	0.00242
4	0.18365	0.94297	0.75932	17	0.99818	0.99998	0.00179
4.5	0.23293	0.95712	0.72418	17.5	0.99865	0.99998	0.00133
5	0.29073	0.96787	0.67714	18	0.999	0.99999	0.00099
5.5	0.35622	0.976	0.61978	18.5	0.99926	0.99999	0.00073
6	0.42756	0.98211	0.55455	19	0.99945	0.99999	0.00054
6.5	0.50204	0.98669	0.48464	19.5	0.99959	0.99999	0.0004
7	0.57644	0.9901	0.41366	20	0.9997	1	0.0003
7.5	0.64753	0.99265	0.34512	20.5	0.99978	1	0.00022
8	0.71263	0.99454	0.28192	21	0.99983	1	0.00016
8.5	0.76998	0.99595	0.22598	21.5	0.99988	1	0.00012
9	0.81879	0.997	0.17821	22	0.99991	1	0.00009
9.5	0.85914	0.99777	0.13863	22.5	0.99993	1	0.00007
10	0.8917	0.99835	0.10665	23	0.99995	1	0.00005
10.5	0.91745	0.99878	0.08133	23.5	0.99996	1	0.00004
11	0.93751	0.99909	0.06159	24	0.99997	1	0.00003
11.5	0.95294	0.99933	0.04639	24.5	0.99998	1	0.00002
12	0.96471	0.9995	0.03479	25	0.99998	1	0.00002
12.5	0.97361	0.99963	0.02602				

Dados relativos à figura 8

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.98032	0.99986	0.01954
0.5	0.02681	0.67491	0.6481	13.5	0.98534	0.9999	0.01455
1	0.03585	0.74182	0.70597	14	0.9891	0.99993	0.01082
1.5	0.0478	0.79907	0.75127	14.5	0.9919	0.99995	0.00804
2	0.06346	0.84625	0.78279	15	0.99399	0.99996	0.00597
2.5	0.0838	0.88396	0.80016	15.5	0.99554	0.99997	0.00443
3	0.10989	0.91337	0.80347	16	0.99669	0.99998	0.00329
3.5	0.14285	0.93586	0.79301	16.5	0.99755	0.99999	0.00244
4	0.18365	0.95282	0.76917	17	0.99818	0.99999	0.00181
4.5	0.23293	0.96546	0.73253	17.5	0.99865	0.99999	0.00134
5	0.29073	0.9748	0.68407	18	0.999	0.99999	0.00099
5.5	0.35622	0.98167	0.62545	18.5	0.99926	1	0.00074
6	0.42756	0.98669	0.55913	19	0.99945	1	0.00055
6.5	0.50204	0.99034	0.4883	19.5	0.99959	1	0.0004
7	0.57644	0.993	0.41656	20	0.9997	1	0.0003
7.5	0.64753	0.99494	0.34741	20.5	0.99978	1	0.00022
8	0.71263	0.99634	0.28371	21	0.99983	1	0.00016
8.5	0.76998	0.99735	0.22737	21.5	0.99988	1	0.00012
9	0.81879	0.99808	0.17929	22	0.99991	1	0.00009
9.5	0.85914	0.99861	0.13947	22.5	0.99993	1	0.00007
10	0.8917	0.999	0.1073	23	0.99995	1	0.00005
10.5	0.91745	0.99928	0.08183	23.5	0.99996	1	0.00004
11	0.93751	0.99948	0.06197	24	0.99997	1	0.00003
11.5	0.95294	0.99962	0.04668	24.5	0.99998	1	0.00002
12	0.96471	0.99973	0.03502	25	0.99998	1	0.00002
12.5	0.97361	0.9998	0.02619				

## Dados relativos à figura 9

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.04262	0.99973	0.9571
0.5	0.0206	0.6694	0.6488	13.5	0.04386	0.9998	0.95593
1	0.02121	0.73213	0.71092	14	0.04514	0.99985	0.95471
1.5	0.02184	0.78675	0.76491	14.5	0.04645	0.99989	0.95344
2	0.02249	0.83278	0.81029	15	0.0478	0.99992	0.95212
2.5	0.02316	0.87051	0.84735	15.5	0.04918	0.99994	0.95076
3	0.02385	0.90074	0.87689	16	0.0506	0.99995	0.94935
3.5	0.02456	0.92452	0.89997	16.5	0.05206	0.99997	0.9479
4	0.02529	0.94297	0.91768	17	0.05356	0.99998	0.94641
4.5	0.02604	0.95712	0.93108	17.5	0.05511	0.99998	0.94488
5	0.02681	0.96787	0.94107	18	0.05669	0.99999	0.9433
5.5	0.0276	0.976	0.9484	18.5	0.05831	0.99999	0.94168
6	0.02842	0.98211	0.95369	19	0.05998	0.99999	0.94001
6.5	0.02926	0.98669	0.95742	19.5	0.0617	0.99999	0.9383
7	0.03012	0.9901	0.95998	20	0.06346	1	0.93654
7.5	0.03101	0.99265	0.96163	20.5	0.06526	1	0.93473
8	0.03193	0.99454	0.96262	21	0.06712	1	0.93288
8.5	0.03287	0.99595	0.96308	21.5	0.06902	1	0.93098
9	0.03384	0.997	0.96316	22	0.07097	1	0.92902
9.5	0.03483	0.99777	0.96294	22.5	0.07298	1	0.92702
10	0.03585	0.99835	0.9625	23	0.07503	1	0.92497
10.5	0.0369	0.99878	0.96187	23.5	0.07714	1	0.92286
11	0.03799	0.99909	0.96111	24	0.07931	1	0.92069
11.5	0.0391	0.99933	0.96023	24.5	0.08152	1	0.91848
12	0.04024	0.9995	0.95926	25	0.0838	1	0.9162
12.5	0.04141	0.99963	0.95822				

Dados relativos à figura 10

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.06967	0.99973	0.93006
0.5	0.021	0.6694	0.64839	13.5	0.07298	0.9998	0.92682
1	0.02206	0.73213	0.71007	14	0.07643	0.99985	0.92342
1.5	0.02316	0.78675	0.76359	14.5	0.08004	0.99989	0.91985
2	0.02432	0.83278	0.80846	15	0.0838	0.99992	0.91612
2.5	0.02554	0.87051	0.84497	15.5	0.08772	0.99994	0.91222
3	0.02681	0.90074	0.87393	16	0.0918	0.99995	0.90815
3.5	0.02815	0.92452	0.89638	16.5	0.09606	0.99997	0.90391
4	0.02955	0.94297	0.91342	17	0.10049	0.99998	0.89949
4.5	0.03101	0.95712	0.9261	17.5	0.1051	0.99998	0.89488
5	0.03255	0.96787	0.93532	18	0.10989	0.99999	0.89009
5.5	0.03416	0.976	0.94184	18.5	0.11488	0.99999	0.88511
6	0.03585	0.98211	0.94626	19	0.12006	0.99999	0.87993
6.5	0.03762	0.98669	0.94906	19.5	0.12545	0.99999	0.87455
7	0.03947	0.9901	0.95063	20	0.13104	1	0.86896
7.5	0.04141	0.99265	0.95123	20.5	0.13684	1	0.86316
8	0.04345	0.99454	0.9511	21	0.14285	1	0.85715
8.5	0.04557	0.99595	0.95038	21.5	0.14908	1	0.85092
9	0.0478	0.997	0.9492	22	0.15554	1	0.84446
9.5	0.05012	0.99777	0.94765	22.5	0.16222	1	0.83778
10	0.05256	0.99835	0.94579	23	0.16913	1	0.83087
10.5	0.05511	0.99878	0.94367	23.5	0.17627	1	0.82373
11	0.05777	0.99909	0.94133	24	0.18365	1	0.81635
11.5	0.06055	0.99933	0.93878	24.5	0.19126	1	0.80874
12	0.06346	0.9995	0.93604	25	0.19912	1	0.80088
12.5	0.06649	0.99963	0.93314				

## Dados relativos à figura 11

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.50204	0.99973	0.49768
0.5	0.02316	0.6694	0.64624	13.5	0.53946	0.9998	0.46033
1	0.02681	0.73213	0.70532	14	0.57644	0.99985	0.42341
1.5	0.03101	0.78675	0.75574	14.5	0.61258	0.99989	0.38731
2	0.03585	0.83278	0.79693	15	0.64753	0.99992	0.35239
2.5	0.04141	0.87051	0.82909	15.5	0.68096	0.99994	0.31898
3	0.0478	0.90074	0.85294	16	0.71263	0.99995	0.28733
3.5	0.05511	0.92452	0.86942	16.5	0.74234	0.99997	0.25762
4	0.06346	0.94297	0.87951	17	0.76998	0.99998	0.23
4.5	0.07298	0.95712	0.88414	17.5	0.79546	0.99998	0.20452
5	0.0838	0.96787	0.88408	18	0.81879	0.99999	0.18119
5.5	0.09606	0.976	0.87994	18.5	0.83999	0.99999	0.16
6	0.10989	0.98211	0.87222	19	0.85914	0.99999	0.14085
6.5	0.12545	0.98669	0.86124	19.5	0.87634	0.99999	0.12366
7	0.14285	0.9901	0.84725	20	0.8917	1	0.1083
7.5	0.16222	0.99265	0.83043	20.5	0.90535	1	0.09464
8	0.18365	0.99454	0.81089	21	0.91745	1	0.08255
8.5	0.20721	0.99595	0.78874	21.5	0.92812	1	0.07188
9	0.23293	0.997	0.76406	22	0.93751	1	0.06249
9.5	0.2608	0.99777	0.73698	22.5	0.94574	1	0.05426
10	0.29073	0.99835	0.70762	23	0.95294	1	0.04706
10.5	0.32261	0.99878	0.67617	23.5	0.95923	1	0.04077
11	0.35622	0.99909	0.64288	24	0.96471	1	0.03529
11.5	0.39131	0.99933	0.60802	24.5	0.96947	1	0.03053
12	0.42756	0.9995	0.57194	25	0.97361	1	0.02639
12.5	0.4646	0.99963	0.53503				

Dados relativos à figura 12

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.50204	0.99973	0.49768
0.5	0.02316	0.6694	0.64624	13.5	0.53946	0.9998	0.46033
1	0.02681	0.73213	0.70532	14	0.57644	0.99985	0.42341
1.5	0.03101	0.78675	0.75574	14.5	0.61258	0.99989	0.38731
2	0.03585	0.83278	0.79693	15	0.64753	0.99992	0.35239
2.5	0.04141	0.87051	0.82909	15.5	0.68096	0.99994	0.31898
3	0.0478	0.90074	0.85294	16	0.71263	0.99995	0.28733
3.5	0.05511	0.92452	0.86942	16.5	0.74234	0.99997	0.25762
4	0.06346	0.94297	0.87951	17	0.76998	0.99998	0.23
4.5	0.07298	0.95712	0.88414	17.5	0.79546	0.99998	0.20452
5	0.0838	0.96787	0.88408	18	0.81879	0.99999	0.18119
5.5	0.09606	0.976	0.87994	18.5	0.83999	0.99999	0.16
6	0.10989	0.98211	0.87222	19	0.85914	0.99999	0.14085
6.5	0.12545	0.98669	0.86124	19.5	0.87634	0.99999	0.12366
7	0.14285	0.9901	0.84725	20	0.8917	1	0.1083
7.5	0.16222	0.99265	0.83043	20.5	0.90535	1	0.09464
8	0.18365	0.99454	0.81089	21	0.91745	1	0.08255
8.5	0.20721	0.99595	0.78874	21.5	0.92812	1	0.07188
9	0.23293	0.997	0.76406	22	0.93751	1	0.06249
9.5	0.2608	0.99777	0.73698	22.5	0.94574	1	0.05426
10	0.29073	0.99835	0.70762	23	0.95294	1	0.04706
10.5	0.32261	0.99878	0.67617	23.5	0.95923	1	0.04077
11	0.35622	0.99909	0.64288	24	0.96471	1	0.03529
11.5	0.39131	0.99933	0.60802	24.5	0.96947	1	0.03053
12	0.42756	0.9995	0.57194	25	0.97361	1	0.02639
12.5	0.4646	0.99963	0.53503				



## Dados relativos à figura 13

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.50204	0.99973	0.49768
0.5	0.02316	0.6694	0.64624	13.5	0.53946	0.9998	0.46033
1	0.02681	0.73213	0.70532	14	0.57644	0.99985	0.42341
1.5	0.03101	0.78675	0.75574	14.5	0.61258	0.99989	0.38731
2	0.03585	0.83278	0.79693	15	0.64753	0.99992	0.35239
2.5	0.04141	0.87051	0.82909	15.5	0.68096	0.99994	0.31898
3	0.0478	0.90074	0.85294	16	0.71263	0.99995	0.28733
3.5	0.05511	0.92452	0.86942	16.5	0.74234	0.99997	0.25762
4	0.06346	0.94297	0.87951	17	0.76998	0.99998	0.23
4.5	0.07298	0.95712	0.88414	17.5	0.79546	0.99998	0.20452
5	0.0838	0.96787	0.88408	18	0.81879	0.99999	0.18119
5.5	0.09606	0.976	0.87994	18.5	0.83999	0.99999	0.16
6	0.10989	0.98211	0.87222	19	0.85914	0.99999	0.14085
6.5	0.12545	0.98669	0.86124	19.5	0.87634	0.99999	0.12366
7	0.14285	0.9901	0.84725	20	0.8917	1	0.1083
7.5	0.16222	0.99265	0.83043	20.5	0.90535	1	0.09464
8	0.18365	0.99454	0.81089	21	0.91745	1	0.08255
8.5	0.20721	0.99595	0.78874	21.5	0.92812	1	0.07188
9	0.23293	0.997	0.76406	22	0.93751	1	0.06249
9.5	0.2608	0.99777	0.73698	22.5	0.94574	1	0.05426
10	0.29073	0.99835	0.70762	23	0.95294	1	0.04706
10.5	0.32261	0.99878	0.67617	23.5	0.95923	1	0.04077
11	0.35622	0.99909	0.64288	24	0.96471	1	0.03529
11.5	0.39131	0.99933	0.60802	24.5	0.96947	1	0.03053
12	0.42756	0.9995	0.57194	25	0.97361	1	0.02639
12.5	0.4646	0.99963	0.53503				

## Dados relativos à figura 14

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	13	0.50204	0.99973	0.49768
0.5	0.02316	0.6694	0.64624	13.5	0.53946	0.9998	0.46033
1	0.02681	0.73213	0.70532	14	0.57644	0.99985	0.42341
1.5	0.03101	0.78675	0.75574	14.5	0.61258	0.99989	0.38731
2	0.03585	0.83278	0.79693	15	0.64753	0.99992	0.35239
2.5	0.04141	0.87051	0.82909	15.5	0.68096	0.99994	0.31898
3	0.0478	0.90074	0.85294	16	0.71263	0.99995	0.28733
3.5	0.05511	0.92452	0.86942	16.5	0.74234	0.99997	0.25762
4	0.06346	0.94297	0.87951	17	0.76998	0.99998	0.23
4.5	0.07298	0.95712	0.88414	17.5	0.79546	0.99998	0.20452
5	0.0838	0.96787	0.88408	18	0.81879	0.99999	0.18119
5.5	0.09606	0.976	0.87994	18.5	0.83999	0.99999	0.16
6	0.10989	0.98211	0.87222	19	0.85914	0.99999	0.14085
6.5	0.12545	0.98669	0.86124	19.5	0.87634	0.99999	0.12366
7	0.14285	0.9901	0.84725	20	0.8917	1	0.1083
7.5	0.16222	0.99265	0.83043	20.5	0.90535	1	0.09464
8	0.18365	0.99454	0.81089	21	0.91745	1	0.08255
8.5	0.20721	0.99595	0.78874	21.5	0.92812	1	0.07188
9	0.23293	0.997	0.76406	22	0.93751	1	0.06249
9.5	0.2608	0.99777	0.73698	22.5	0.94574	1	0.05426
10	0.29073	0.99835	0.70762	23	0.95294	1	0.04706
10.5	0.32261	0.99878	0.67617	23.5	0.95923	1	0.04077
11	0.35622	0.99909	0.64288	24	0.96471	1	0.03529
11.5	0.39131	0.99933	0.60802	24.5	0.96947	1	0.03053
12	0.42756	0.9995	0.57194	25	0.97361	1	0.02639
12.5	0.4646	0.99963	0.53503				



### Dados relativos à figura 16

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	20	1.14567	1	-0.14567
0.5	0.02533	0.6694	0.64407	20.5	1.14724	1	-0.14724
1	0.03166	0.73213	0.70047	21	1.1472	1	-0.1472
1.5	0.03918	0.78675	0.74758	21.5	1.14577	1	-0.14578
2	0.04803	0.83278	0.78475	22	1.1432	1	-0.1432
2.5	0.05843	0.87051	0.81208	22.5	1.13967	1	-0.13967
3	0.07058	0.90074	0.83016	23	1.13537	1	-0.13537
3.5	0.08469	0.92452	0.83983	23.5	1.13047	1	-0.13047
4	0.10101	0.94297	0.84196	24	1.12513	1	-0.12513
4.5	0.11977	0.95712	0.83735	24.5	1.11946	1	-0.11946
5	0.1412	0.96787	0.82668	25	1.11359	1	-0.11359
5.5	0.16551	0.976	0.8105	25.5	1.10761	1	-0.10761
6	0.19289	0.98211	0.78922	26	1.10159	1	-0.10159
6.5	0.22349	0.98669	0.76319	26.5	1.09562	1	-0.09562
7	0.2574	0.9901	0.73271	27	1.08975	1	-0.08975
7.5	0.29461	0.99265	0.69804	27.5	1.08401	1	-0.08401
8	0.33506	0.99454	0.65949	28	1.07846	1	-0.07846
8.5	0.37854	0.99595	0.61741	28.5	1.0731	1	-0.0731
9	0.42476	0.997	0.57223	29	1.06798	1	-0.06798
9.5	0.47331	0.99777	0.52446	29.5	1.06308	1	-0.06308
10	0.52366	0.99835	0.47469	30	1.05844	1	-0.05844
10.5	0.57521	0.99878	0.42357	30.5	1.05404	1	-0.05404
11	0.62729	0.99909	0.37181	31	1.0499	1	-0.0499
11.5	0.67919	0.99933	0.32014	31.5	1.04601	1	-0.04601
12	0.73022	0.9995	0.26928	32	1.04236	1	-0.04236
12.5	0.77971	0.99963	0.21992	32.5	1.03894	1	-0.03894
13	0.82706	0.99973	0.17267	33	1.03576	1	-0.03576
13.5	0.87175	0.9998	0.12805	33.5	1.0328	1	-0.0328
14	0.91336	0.99985	0.08649	34	1.03005	1	-0.03005
14.5	0.95158	0.99989	0.04831	34.5	1.0275	1	-0.0275
15	0.9862	0.99992	0.01372	35	1.02514	1	-0.02514
15.5	1.01713	0.99994	-0.01719	35.5	1.02297	1	-0.02297
16	1.04433	0.99995	-0.04438	36	1.02096	1	-0.02096
16.5	1.06789	0.99997	-0.06792	36.5	1.01911	1	-0.01911
17	1.08791	0.99998	-0.08793	37	1.01741	1	-0.01741
17.5	1.10457	0.99998	-0.10459	37.5	1.01584	1	-0.01584
18	1.11809	0.99999	-0.11811	38	1.01441	1	-0.01441
18.5	1.1287	0.99999	-0.12871	38.5	1.0131	1	-0.0131
19	1.13666	0.99999	-0.13667	39	1.01189	1	-0.01189
19.5	1.14222	0.99999	-0.14223	39.5	1.01079	1	-0.01079
20	1.14567	1	-0.14567	40	1.00979	1	-0.00979

## Dados relativos à figura 17

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	20	0.33682	1	0.66318
0.5	0.02202	0.6694	0.64738	20.5	0.35392	1	0.64608
1	0.02419	0.73213	0.70794	21	0.37149	1	0.62851
1.5	0.02652	0.78675	0.76024	21.5	0.38951	1	0.61049
2	0.02902	0.83278	0.80376	22	0.40795	1	0.59205
2.5	0.0317	0.87051	0.83881	22.5	0.42678	1	0.57321
3	0.03456	0.90074	0.86618	23	0.44599	1	0.55401
3.5	0.03763	0.92452	0.88689	23.5	0.46553	1	0.53447
4	0.04091	0.94297	0.90206	24	0.48538	1	0.51462
4.5	0.04442	0.95712	0.9127	24.5	0.50549	1	0.49451
5	0.04816	0.96787	0.91972	25	0.52583	1	0.47417
5.5	0.05215	0.976	0.92386	25.5	0.54636	1	0.45364
6	0.0564	0.98211	0.92571	26	0.56703	1	0.43297
6.5	0.06092	0.98669	0.92576	26.5	0.5878	1	0.4122
7	0.06574	0.9901	0.92436	27	0.60863	1	0.39137
7.5	0.07086	0.99265	0.92179	27.5	0.62948	1	0.37052
8	0.07629	0.99454	0.91825	28	0.65028	1	0.34971
8.5	0.08206	0.99595	0.91389	28.5	0.67102	1	0.32898
9	0.08818	0.997	0.90882	29	0.69162	1	0.30838
9.5	0.09466	0.99777	0.90312	29.5	0.71206	1	0.28794
10	0.10151	0.99835	0.89684	30	0.7323	1	0.2677
10.5	0.10876	0.99878	0.89002	30.5	0.75228	1	0.24772
11	0.11642	0.99909	0.88268	31	0.77196	1	0.22804
11.5	0.12449	0.99933	0.87484	31.5	0.79132	1	0.20868
12	0.13301	0.9995	0.8665	32	0.81032	1	0.18968
12.5	0.14197	0.99963	0.85766	32.5	0.82892	1	0.17108
13	0.1514	0.99973	0.84833	33	0.84708	1	0.15292
13.5	0.1613	0.9998	0.83849	33.5	0.86479	1	0.13521
14	0.1717	0.99985	0.82815	34	0.88202	1	0.11798
14.5	0.18259	0.99989	0.8173	34.5	0.89874	1	0.10126
15	0.19399	0.99992	0.80593	35	0.91493	1	0.08507
15.5	0.2059	0.99994	0.79404	35.5	0.93058	1	0.06942
16	0.21834	0.99995	0.78161	36	0.94567	1	0.05433
16.5	0.23131	0.99997	0.76866	36.5	0.96019	1	0.03981
17	0.24481	0.99998	0.75517	37	0.97413	1	0.02587
17.5	0.25883	0.99998	0.74115	37.5	0.98748	1	0.01252
18	0.27339	0.99999	0.72659	38	1.00024	1	-0.00024
18.5	0.28848	0.99999	0.71151	38.5	1.0124	1	-0.0124
19	0.30409	0.99999	0.69591	39	1.02397	1	-0.02397
19.5	0.3202	0.99999	0.67979	39.5	1.03495	1	-0.03495
				40	1.04534	1	-0.04534

Dados relativos à figura 18

Tempo	XS	XL	XD	Tempo	XS	XL	XD
0	0.02	0.6	0.58	20	0.02906	1	0.97094
0.5	0.0202	0.6694	0.6492	20.5	0.02932	1	0.97068
1	0.02039	0.73213	0.71174	21	0.02958	1	0.97042
1.5	0.02059	0.78675	0.76616	21.5	0.02985	1	0.97015
2	0.02079	0.83278	0.81199	22	0.03011	1	0.96989
2.5	0.02099	0.87051	0.84951	22.5	0.03038	1	0.96962
3	0.0212	0.90074	0.87954	23	0.03065	1	0.96935
3.5	0.0214	0.92452	0.90312	23.5	0.03092	1	0.96908
4	0.02161	0.94297	0.92136	24	0.03119	1	0.9688
4.5	0.02182	0.95712	0.9353	24.5	0.03147	1	0.96853
5	0.02203	0.96787	0.94585	25	0.03175	1	0.96825
5.5	0.02224	0.976	0.95376	25.5	0.03203	1	0.96797
6	0.02245	0.98211	0.95966	26	0.03231	1	0.96769
6.5	0.02267	0.98669	0.96402	26.5	0.03259	1	0.96741
7	0.02288	0.9901	0.96722	27	0.03288	1	0.96712
7.5	0.0231	0.99265	0.96955	27.5	0.03316	1	0.96684
8	0.02332	0.99454	0.97123	28	0.03345	1	0.96655
8.5	0.02354	0.99595	0.97241	28.5	0.03374	1	0.96626
9	0.02376	0.997	0.97324	29	0.03403	1	0.96597
9.5	0.02398	0.99777	0.97379	29.5	0.03433	1	0.96567
10	0.02421	0.99835	0.97414	30	0.03462	1	0.96538
10.5	0.02444	0.99878	0.97434	30.5	0.03492	1	0.96508
11	0.02466	0.99909	0.97443	31	0.03522	1	0.96478
11.5	0.02489	0.99933	0.97443	31.5	0.03553	1	0.96447
12	0.02513	0.9995	0.97438	32	0.03583	1	0.96417
12.5	0.02536	0.99963	0.97427	32.5	0.03614	1	0.96386
13	0.02559	0.99973	0.97413	33	0.03645	1	0.96355
13.5	0.02583	0.9998	0.97397	33.5	0.03676	1	0.96324
14	0.02607	0.99985	0.97378	34	0.03707	1	0.96293
14.5	0.02631	0.99989	0.97358	34.5	0.03739	1	0.96261
15	0.02655	0.99992	0.97337	35	0.0377	1	0.9623
15.5	0.02679	0.99994	0.97315	35.5	0.03802	1	0.96198
16	0.02704	0.99995	0.97292	36	0.03834	1	0.96166
16.5	0.02728	0.99997	0.97268	36.5	0.03867	1	0.96133
17	0.02753	0.99998	0.97244	37	0.03899	1	0.96101
17.5	0.02778	0.99998	0.9722	37.5	0.03932	1	0.96068
18	0.02803	0.99999	0.97195	38	0.03965	1	0.96035
18.5	0.02829	0.99999	0.9717	38.5	0.03998	1	0.96002
19	0.02854	0.99999	0.97145	39	0.04032	1	0.95968
19.5	0.0288	0.99999	0.97119	39.5	0.04065	1	0.95935
				40	0.04099	1	0.95901

**PROGRAM Transfer**

```

C
  REAL  Xs(1), dXs(1)
c
  INTEGER Modelo
  INTEGER iflag, nfe, kop, init, jflag, kflag, retcod, neqn
  REAL  tout, tfinal, tamost, savre, savae, relerr, abserr
C
  REAL  bs, bl, Ks, Kl, Kt, Ul / 1 /, Us / 1 /, R, R1, R2
  REAL  t0 / 0.0 /
  CHARACTER*13 Nome_Fich
c
  CALL CLEAR
10 WRITE(6, '(A$)') ' Valor inicial da vari vel Xs    > '
  READ(5, *, ERR=10) Xs(1)
20 WRITE(6, '(A$)') ' Valor inicial da vari vel Xl    > '
  READ(5, *, ERR=20) Xl
30 WRITE(6, '(A$)') ' Valor da Constante Ks          > '
  READ(5, *, ERR=30) Ks
40 WRITE(6, '(A$)') ' Valor da Constante Kl          > '
  READ(5, *, ERR=40) Kl
50 WRITE(6, '(A$)') ' Modelo Matem tico (1 ou 2)      > '
  READ(5, *, ERR=50) Modelo
  IF(Modelo.EQ. 1) THEN
52 WRITE(6, '(A$)') ' Valor da Constante Kt          > '
  READ(5, *, ERR=52) Ks
  END IF
c
c  LER TEMPOS INICIAL E FINAL E PASSO DE AMOSTRAGEM
c
  CALL CLEAR
54 WRITE(6, '(A$)') ' Tempo final (ano)              > '
  READ(5, *, ERR=54) tfinal
56 WRITE(6, '(A$)') ' Passo de amostragem (ano) > '
  READ(5, *, ERR=56) tamost

  CALL CLEAR
  WRITE(6, '(A$)') ' Nome do ficheiro de resultados > '
  READ(5, '(A)') Nome_Fich

  OPEN(7, FILE=Nome_Fich, STATUS='UnKnown')
c
c  DEFINICAO DE CONSTANTES DO INTEGRADOR NUMERICO DE EQUACOES
c  DIFERENCIAIS ORDINARIAS
c
  relerr = 1.e-07
  abserr = 1.e-07
  neqn = 1
c
  iflag = 1
  retcod = 0

  IF (Modelo.EQ. 2) THEN
    Kt = Ks * Xs(1) / Xl
  END IF

  bs = (1.0 - Xs(1)) / Xs(1)

```

```
bl = (1.0 - Xl) / Xl
```

```
arg1 = Ks*t0
```

```
arg2 = Kl*t0
```

```
IF(arg1 .GT. 30) arg1 = 30
```

```
IF(arg2 .GT. 30) arg2 = 30
```

```
IF(Modelo .EQ. 1) THEN
```

```
  R = (Us*Ks*bs) / ((1+bs*exp(-arg1))**2 * exp(arg1)) +  
  * (Kt*Ul) / (1+bl*exp(-arg2))
```

```
ELSE
```

```
  R1 = (1.0 + bl*exp(-arg2)) / Ul
```

```
  R2 = bs*Ks*exp(-arg1)*Us*(1+bs*exp(-arg1))**(-2)
```

```
END IF
```

```
c
```

```
WRITE(6,900) t0, Xs(1), Xl, Xl-Xs(1)
```

```
WRITE(7,900) t0, Xs(1), Xl, Xl-Xs(1)
```

```
70 tout = t0 + tamost
```

```
80 continue
```

```
CALL mrkf45(neqn, t0, tout, Xs, dXs, relerr, abserr, iflag,  
* savre, savae, nfe, kop, init, jflag, kflag, retcod)
```

```
IF(iflag .EQ. 2) THEN
```

```
  IF(retcod .LT. 0) THEN
```

```
    GO TO 100
```

```
  ELSE
```

```
    GO TO 90
```

```
  END IF
```

```
ELSE
```

```
  GO TO(110, 120, 130, 140, 150), iflag - 2
```

```
END IF
```

```
90 CONTINUE
```

```
IF (Modelo .EQ. 2) THEN
```

```
  arg2 = Kl*t0
```

```
  IF(arg2 .GT. 30) arg2 = 30
```

```
  Xl= Ul / (1+bl*exp(-arg2))
```

```
  Kt = Ks * Xs(1) / Xl
```

```
END IF
```

```
arg1 = Ks*t0
```

```
arg2 = Kl*t0
```

```
IF(arg1 .GT. 30) arg1 = 30
```

```
IF(arg2 .GT. 30) arg2 = 30
```

```
IF(Modelo .EQ. 1) THEN
```

```
  R = (Us*Ks*bs) / ((1+bs*exp(-arg1))**2 * exp(arg1)) +  
  * (Kt*Ul) / (1+bl*exp(-arg2))
```

```
ELSE
```

```

    R1 = (1.0 + b1*exp(-arg2)) / UI
    R2 = bs*Ks*exp(-arg1)*Us*(1+bs*exp(-arg1))**(-2)
END IF

c
c  Trajectory de x representada por dXs(1)
c
  IF(Modelo .Eq. 1) THEN
    dXs(1) = -Kt*Xs(1)+R
  ELSE
!   dXs(1) = Ks*Xs(1) - Ks*R1*Xs(1)*Xs(1) + R2
    dXs(1) = (Ks - Kt)*Xs(1) + R2
  END IF

  GO TO 80

100 arg2 = K1*t0

  IF(arg2 .GT. 30) arg2 = 30
  Xl= UI / (1+b1*exp(-arg2))

  WRITE(6,900) t0, Xs(1), Xl, Xl-Xs(1)
  WRITE(7,900) t0, Xs(1), Xl, Xl-Xs(1)

  IF(t0 .lt. tfinal) THEN

    GO TO 70

  ELSE

    stop

  END IF

110 WRITE(6,910) relerr, abserr
  GO TO 80
120 WRITE(6,920)
  GO TO 80
130 abserr = 1.0e-07
  WRITE(6,910) relerr, abserr
  GO TO 80
140 relerr = 10.0 * relerr
  IF (relerr .GE. 1.0) STOP ' Problemas na integraç,ão do sistema'
  WRITE(6,910) relerr, abserr
  iflag = 2
  GO TO 80
150 WRITE(6,930)
  iflag = 2
  GO TO 80
c
900 FORMAT(1x, 40f13.5)
910 FORMAT(1x,'tolerancias redefinidas ',2e12.3)
920 FORMAT(1x,'numero excessivo de passos de integracao ')
930 FORMAT(1x,'numero excessivo de instantes de amostragem')

END

```



## **Referências Bibliográficas**

**[1] Ausubel, J. H. 1991.**

Rat-race dynamics and crazy companies. The diffusion of technologies and social behavior.  
*Technological Forecasting and Social Change* 39, 11-22.

**[2] Banks, R. B. 1994.**

*Growth and Diffusion Phenomena: Mathematical Frameworks and Applications.* Berlin: Springer-Verlag.

**[3] Bretschneider, S. I., and V. Mahajan. 1980.**

Adaptive technological substitution models.

*Technological Forecasting and Social Change* 18, 129-139.

**[4] Dahlman, C. J., B. Ross-Larson B., and L. E. Westphal 1987.**

Managing technological development: lessons from the newly industrializing countries.

*World Development*, Vol. 15. Nº 6, 759-775.

**[5] Easingwood, C., V. Mahajan, and E. Muller. 1981.**

A nonsymmetric logistic model for forecasting technological substitution.

*Technological Forecasting and Social Change* 20, 199-213.

**[6] Godinho, M. M., e J. M. G. Caraça. 1988.**

Inovação tecnológica e difusão no contexto de economias de desenvolvimento intermédio.

*Análise Social*, Vol. XXIV (103-104), (4ª, 5ª), 929-962.

**[7] Hurter, A. P. Jr., and A. H. Rubenstein. 1978.**

Market penetration by new innovations: the technological literature.

*Technological Forecasting and Social Change* 11, 197-221.



[8] Krupp, H. 1995.

European technology policy and global Schumpeter dynamics: a social science perspective.  
*Technological Forecasting and Social Change* 48, 7-26.

[9] Liu, W. G. 1993.

A quantitative technology transfer model and its application to aircraft engines.  
*Technological Forecasting and Social Change* 44, 179-186.

[10] Mahajan, V. and R. A. Peterson. 1979.

Integrating time and space in technological substitution models.  
*Technological Forecasting and Social Change* 14, 231-241.

[11] Mahajan, V. and R. A. Peterson .1985.

*Models for Innovation Diffusion*. Beverly Hills:  
Sage University Paper.

[12] Mansfield, E. 1961.

Tecnical change and the rate of imitation.  
*Econometrica*, Vol. 29, N° 4, 741-766.

[13] Randles, F. 1983.

On the diffusion of computer terminals in an established engineering environment.  
*Management Science*, Vol.29, N°4, 465-476.

[14] Raz, B., G. Steinberg, and A. Ruina. 1983.

A quantitative model of technology transfer and technological "catch-up": the case of developed countries.  
*Technological Forecasting and Social Change* 24, 31-44.



[15] Raz, B., and I. Assa. 1988.

A model of "coupled" technology transfer. A logistic curve approach.

*Technological Forecasting and Social Change* 33, 251-265.

[16] Robinson R. D. 1991.

The International Communication of Technology . New York:

Taylor & Francis.

[17] Sharif, M. N., and A. K. M. A. Haq. 1980.

Evaluating the potentials of technical cooperation among developing countries.

*Technological Forecasting and Social Change* 16, 3-31.